

Presented by :



Proudly present,

11th Industrial Engineering Conference & Rapat Kerja Nasional IV Forum IV PPPI



Sponsored by :





**Prosiding Seminar dan Konferensi
Nasional IDEC 11th 2024
ISSN 2579-6429**



LEMBAGA ILMU PENGETAHUAN INDONESIA
(*INDONESIAN INSTITUTE OF SCIENCES*)
PUSAT DOKUMENTASI DAN INFORMASI ILMIAH
Jl. Jenderal Gatot Subroto 10 Jakarta 12710
Tel.: (021) 5733465, 5250719, 5251063, 5207386-87, Fax: (021) 5733467, 5210231
E-mail: sek.pdii@mail.lipi.go.id, Website <http://www.pdii.lipi.go.id>



Jakarta, 27 Maret 2017

No. : 0005.25796429/JI.3.1/SK.ISSN/2017.04
Hal. : SK Penerbitan ISSN no. 2579-6429

Kepada Yth.,
Penanggung-jawab / Pemimpin Redaksi
"Prosiding Seminar dan Konferensi Nasional IDEC (Industrial Engineering Conference)"
Program Studi Teknik Industri Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami No. 36 A Surakarta 57126
Tel : (0271) 632 110
Fax :
Surat-e : idec@ft.uns.ac.id

PUSAT DOKUMENTASI DAN INFORMASI ILMIAH
LEMBAGA ILMU PENGETAHUAN INDONESIA

sebagai

Pusat Nasional ISSN (*International Standard Serial Number*) untuk Indonesia yang berpusat di Paris, dengan ini memberikan ISSN (*International Standard Serial Number*) kepada terbitan berkala di bawah ini :

Judul : **Prosiding Seminar dan Konferensi Nasional IDEC (Industrial Engineering Conference)**
ISSN : **2579-6429** (media cetak)
Mulai edisi **Vol. 4, April 2017**
Penerbit : **Program Studi Teknik Industri Universitas Sebelas Maret**

Sebagai syarat setelah memperoleh ISSN, penerbit diwajibkan :

1. Mencantumkan ISSN di pojok kanan atas pada halaman kulit muka, halaman judul dan halaman daftar isi terbitan tersebut di atas dengan diawali tulisan ISSN, tanpa titik dua. Mencantumkan kodebar atau barcode ISSN di pojok kanan bawah pada halaman kulit belakang untuk terbitan ilmiah, sedangkan terbitan non ilmiah/popular di pojok kiri bawah pada halaman kulit muka.
2. Mengirimkan terbitannya minimal 2 (dua) eksemplar setiap nomor terbitan sebagai wajib simpan terbitan ke PDII LIPI.
3. Pengelola/Penerbit juga wajib mengirimkan berkas digital atau softcopy setiap nomor terbitan dalam format PDF dalam melalui email isjd.pdiilipi@yahoo.com, baik untuk terbitan tercetak maupun online, agar dapat dikelola dan diakses melalui Indonesian Scientific Journal Database (ISJD).
4. Apabila judul dan atau sub judul terbitan diganti, pengelola terbitan harus segera melaporkan ke PDII LIPI untuk mendapatkan ISSN baru.
5. ISSN untuk terbitan tercetak tidak dapat digunakan untuk terbitan online. Demikian pula sebaliknya, kedua media terbitan tersebut harus didaftarkan ISSN nya secara terpisah.
6. ISSN mulai berlaku sejak tanggal, bulan, dan tahun diberikannya nomor tersebut dan tidak berlaku mundur. Penerbit atau pengelola terbitan berkala tidak berhak mencantumkan ISSN yang dimaksud pada terbitan terdahulu.

Kepala Pusat Nasional ISSN,

Dr. Ir. Tri Margono
NIP 196707061991031006

Catatan :

Surat Keputusan ini diproduksi secara elektronik dan tidak membutuhkan tanda-tangan pengesahan. Konfirmasi atas keabsahan nomor ISSN ini bisa dilakukan dengan melihat kesesuaiannya dengan nomor registrasi **1492315450** di situs ISSN Online (<http://issn.pdii.lipi.go.id>).

SUSUNAN PANITIA PPPI
Seminar Nasional dan Rapat Kerja Nasional Forkom IV PPPI dan
IDEC 2024
“Percepatan Making Indonesia 4.0: Transformasi Keinsinyuran Dalam Era
Revolusi Industri Terkini”

Pengarah	: Dr. Chatarina Muliana, S.H., S.E., M.H. : Dr.techn. Ir. Sholihin As'ad, M.T. : Rois Fathoni, S.T., M.Sc, Pd.D. : Ir. Muhammad Agus Kariem, S.T., M.T., Ph.D, IPM.
Penanggung Jawab	: Prof. Ir. Dody Ariawan, S.T., M.T., Ph.D.
Penasehat	: Prof. Dr. Wahyudi Sutopo, S.T., M.Si.
Ketua	: Dr. Eng. Ir. Pringgo Widyo Laksono, S.T., M.Eng., IPM.
Wakil Ketua	: Ir. Agung Setyo Darmawan, S.T., M.T., IPM. : Dr. Ir. Lucia Ingrid Regina Lefrandt, S.T., MT., IPU., ASEAN Eng.
General Secretary	: Ir. Widi Hartono, S.T., M.T.
Secretary I	: Era Febriana Aqidawati, S.T., M.T.
Secretary II	: Ir. Tanti Octavia, ST, M.Eng., IPM.
General Treasurer	: Dr. Ir. Aviasti, M.Sc., IPM.
Treasurer I	: Ir. Rahmaniyah Dwi Astuti. S.T., M.T., IPM.
Sie Publication	: Dr. Ir. Wakhid Ahmad Jauhari S.T., M.T.
Sie Sponsorship	: Dr. Ir. Subagyo, PhD., IPU., ASEAN.Eng.
Sie Technical Program	: Dr. Ir. Dewi Handayani. S.T., M.T., IPM. : Prof. Ir. Ridho Bayuaji, S.T., M.T., Ph.D, IPM., ASEAN.Eng. : Prof. Dr. Ir. Fitri Yuli Zulkifli, S.T., M.Sc, IPU. : Dr. Ir. Budi Santoso, S.T., M.T. : Dr. Ir. Nur Miladan, S.T., M.T.

: Ir. Feri Adriyanto, S.Pd., M.Si., Ph.D.

: Dr. Ir. Didik Djoko Susilo, S.T., M.T.

: Ade Aisyah Arifna Putri S.T., M.T., M.B.A.

JAJARAN REVIEWER DAN MODERATOR PARALLEL SESSION

Seminar Nasional dan Rapat Kerja Nasional Forkom IV PPPI dan IDEC 2024

**“Percepatan Making Indonesia 4.0: Transformasi Keinsinyuran Dalam Era
Revolusi Industri Terkini”**

Prof. Dr. Ir. Cucuk Nur Rosyidi, S.T., M.T.	: Reviewer Topik Sistem Produksi
Ir. Fakhрина Fahma, STP., M.T.	: Reviewer Topik Sistem Kualitas
Prof. Dr. Ir. Eko Pujiyanto, S.Si., M.T. IPM	: Reviewer Topik Sistem Kualitas
Dr. Ir. Retno Wulan Damayanti, S.T., M.T.	: Reviewer Topik Sistem Kualitas
Dr. Eng. Ilham Priadythama, S.T., M.T.	: Reviewer Topik Perencanaan dan Perancangan Produk
Dr. Ir. R. Hari Setyanto, M.Si.	: Reviewer Topik Perencanaan dan Perancangan Produk
Taufiq Rochman, S.T.P., M.T.	: Reviewer Topik Perencanaan dan Perancangan Produk
Akh. Sokhibi, S.T., M.Eng.	: Reviewer Topik Analisis Perancangan Sistem Kerja dan Ergonomi
Nana Rahdiana, S.T., M.T.	: Reviewer Topik Analisis Perancangan Sistem Kerja dan Ergonomi
Dr. Ir. Muh. Hisjam, S.T.P., M.T.	: Reviewer Topik Sistem Logistik dan Bisnis
Dr. Ir. Yuniaristanto, S.T., M.T.	: Reviewer Topik Sistem Logistik dan Bisnis
Ir. I Wayan Suletra, S.T., M.T.	: Reviewer Topik Perancangan dan Optimasi Sistem Industri
Ir. Yusuf Priyandari, S.T., M.T.	: Reviewer Topik Perancangan dan Optimasi Sistem Industri
Dr. Ir. Wakhid Ahmad Jauhari, S.T., M.T.	: Reviewer Topik Keinsinyuran
Dr. Ir. Wakhid Ahmad Jauhari, S.T., M.T.	: Moderator Parallel Session

Prof. Dr. Ir. Cucuk Nur Rosyidi, S.T., M.T. : Moderator Parallel Session

Dr. Eng. Ilham Priadythama, S.T., M.T. : Moderator Parallel Session

Ir. Rahmaniyah Dwi Astuti, S.T., M.T. : Moderator Parallel Session

Achmad Sidiq Herman : Moderator Parallel Session

SUSUNAN PANITIA IDEC

Seminar Nasional dan Rapat Kerja Nasional Forkom IV PPPI dan IDEC 2024

“Percepatan Making Indonesia 4.0: Transformasi Keinsinyuran Dalam Era
Revolusi Industri Terkini”

Ketua	: Dr. Eng. Ir. Pringgo Widyo Laksono, S.T., M.Eng., IPM.	
<i>Coordinator Committee I</i>	: Whisnu Pharama Yudha	I0321108
<i>Coordinator Committee II</i>	: Revy Andana Putra	I0321087
<i>General Secretary</i>	: Fatihah Asy Syifa	I0322043
<i>Secretary I</i>	: Natasya Alya Rahmania	I0323093
<i>Secretary II</i>	: Zakiya Al-Hayaah	I0323119
<i>General Treasurer</i>	: Adz-Dzikra Qurota A.	I0322005
<i>Treasurer I</i>	: Rafif Mar'ie Firdaus	I0322101
Sie Acara	: Nayaka Rafa Hartono	I0321080
	: Chelsea Latifasari	I0321026
	: Muhammad Rafi Nur Iman	I0321074
	: Khansa Khalida Kennedy	I0322067
	: Neerzalla Atha Nafisah	I0322094
	: Raditya Akmal Putra	I0322100
	: Risna Venanti	I0322108
	: Sonia Claudya Stepani	I0322118
	: Adhisti Najla Hannifah	I0323005
	: Aisha Shafa Tabina	I0323008
	: Angga Adi Prasetyo	I0323015
	: Atha Nabilah Aurellia	I0323019
	: Bima Aryasakti Persada	I0323023
	: Kezia Vita Christiana	I0323059

Sie Sekretariat	: Anggito Dwi Prihantoro	I0322015
	: Achmad Sidiq Herman	I0322001
	: Aditya Agung Nugroho	I0322002
	: Irviana Amanatul Mufaida	I0322054
	: Rizky Indra Maulana	I0322112
	: Yulia Puspa Nur Ranti	I0322131
	: Fadia Dian Ambarrizka	I0323037
	: Irma Arisa Mahfudziyah	I0323054
Sie Penggalangan Dana	: Putra Abdul Whakhid	I0321084
	: Rizal Hakim Azaria	I0322109
	: Nicholas Christopher P.	I0321082
	: Karisa Arfina Ratri	I0322061
	: Mardhiyah Nur Afiahni	I0322074
	: El Qonita Nur Khayyina	I0323035
	: Gita Riska Permata	I0323049
	: Anisa Indah Nurâ€™aini	I0323125
Sie Logistik dan Konsumsi	: Denny Kusumo Wibowo	I0321032
	: Layyina Khonsa	I0321061
	: Novita Salma Pradita	I0321083
	: Sukma Ayu Ghira	I0321099
	: Adha Nursanti	I0323004
	: Diaz Mondrian	I0323030
	: Ghazella Ramulti Nareswari	I0323047
	: Sarah Amelia Azzahra	I0323127
	: Danu Aflah	I0321031
	: Rifqi Zul Fahmi	I0321088
	: Riyan Farid Ferdiansyah	I0321089
	: Theodosius Wahyu	I0321104

Sie Media dan Publikasi	: Muhammad Mufti Zuhud	I0321073
	: Akhdan Hanif Kartika Z.	I0321005
	: Joevanka Amanda H.	I0321055
	: Muhammad Alfaatih S.	I0321071
	: Kasturia Wira Amariz	I0322062
	: Shabrina Aulia Nisa	I0322117
	: Arga Prasetya Novananda	I0323017
	: Dimas Faiqwira Anwar	I0323032
Sie Public Relation	: Fitri Nidhomun Ni'mah	I0322046
	: Deo Permana Putra	I0322036
	: Fery Kurniawan	I0322044
	: Ghaisan Nabil Alfian A.	I0322050
	: Haiva Putri Palmaisyah	I0322051
	: Josephine Karin R.	I0322059
	: Kavita Lailia Ina Zahra	I0322064
	: Levina Meisya Putri	I0323062
	: Margareth Valerie Sitepu	I0323066
	: Merliana Rossiano D.	I0323071
	: Nayara Rizka Pratika A.	I0323095
	: Shegy Yuniar Amalia	I0323129

DAFTAR ISI

Prosiding Seminar dan Konferensi Nasional IDEC 11th 2024 ISSN 2579-6429

Judul Paper Penulis Paper	Hal.
TOPIK PERANCANGAN DAN OPTIMASI SISTEM INDUSTRI	
Analisis Multikriteria untuk Keputusan Pembelian Laptop: Penerapan Metode Analytic Network Process (ANP) Muhammad Idham Baihaqi, Prita Nurkhalisa Maradjabessy, dan Firza Faturrahman	1 - 11
Pemilihan Kriteria Utama Penentuan Lokasi Cabang Industri Kreatif Melalui Penerapan Metode Analytical Network Process Atiqoh Fairuz Hamidah, Hadi Ramadhan, dan Igoh Satria Futra Pratama	12 - 20
Penentuan Penerima Program Keluarga Harapan (PKH) dengan Metode Analytical Hierarchy Process (AHP) Samaya Dhiya Salindri, Prita Nurkhalisa Maradjabessy, dan Firza Faturrahman	21 - 30
Penerapan Metode Analytical Hierarchy Process (AHP) Untuk Optimalisasi Pemilihan Kos Putri Hadi Ramadhan, Atiqoh Fairuz Hamidah, dan Igoh Satria Futra Pratama	31 - 37
TOPIK PERENCANAAN DAN PERANCANGAN PRODUK	
Konsistensi Produksi Mesin CNC Milling 3 Axis Supermill MK2 dengan Metode Hasil Pemotongan untuk Hasil Produksi yang Berkualitas Fajar Budi Laksono, Pringgo Widyo Laksono, dan Ubaidillah	38 - 43
Perancangan Alat Bantu Drill Jig Besi Round Hollow pada Praktikum Perancangan Teknik Industri II dengan Metode NIDA Luthfi Kumara Jati, Mohammad Hanif Putra Susetyo, Mutiara Anjeli Aldrin, Resya Falisha, dan Muhammad Hafizh Fatihurrizqi	44 - 49
Perancangan Alat Bantu Kerja pada Proses Cutting Part di Untung Makmur Furniture dengan Metode DFM Najwa Mumtaz, Nicholas Cristoper Panggabean, Revy Andana Putra, dan Yunita	50 - 54
Perancangan Alat Bantu Pada Proses Pelubangan Mesin Milling Menggunakan Metode Design Thinking dan Kaizen di Industri Mebel XYZ Maulidan Mirza Tsany Ghozali, Mikail Naufal Kemal, Muhammad Rafi Nur Iman, Jovanka Amanda Harijanto, dan Caesar Rifqi Ardana	55 - 63

Perancangan Alat Bantu Produksi Berbasis Keamanan Untuk Cutting Tool Jigsaw Dengan Metode NIDA	64 - 69
Rafif Marie Firdaus, Salsabila Zabrina Apsari, Pradipta Daniswara, Neerzalla Atha Nafisah, Raditya Akmal Putra Isnanto, dan Tiara Tyagita Azzahra	
Perancangan Alat Bantu produksi pada Part Segitiga Siku Meja pada UD. Mahesa Jaya Furniture	70 - 79
Febrian Naufal Irfansyah, Nashwan Fawzy, Rizky Putri Aisyah, Theodosius Wahyu Harry Putra, dan Pringgo Widyo Laksono	
Perancangan Desain Alat Bantu Jig Dalam Meningkatkan Akurasi dan Keamanan Penggunaan Miter saw di Laboratorium P3 (Perencanaan Perancangan Produk)	80 - 89
Sulaiman Bilal Muzakhar, Riyan Farid Ferdiyansyah, Rifqi Zul Fahmi, dan Yashinta Putri Damayanti	
TOPIK PERANCANGAN SISTEM KERJA DAN ERGONOMI	
Analisis Pengaruh Kebisingan Proses Produksi Tiang Pancang Terhadap Produktivitas Pekerja Pada Plant/Jalur 4 PT Wijaya Karya Beton Tbk. Pabrik Produk Beton Boyolali	90 - 97
Dicky Pamungkas dan Rahmaniyah Dwi Astuti	
Analisis Postur Kerja Menggunakan Metode RULA dan Pendekatan Antropometri Untuk Redesign Halte Bus Trans Jogja	98 - 107
Lulu Riesta Nugroho, Ridho Muzaik Ramadhan, Zahara Intan Wigathie , Felix Rasyada Rafif	
Analisis Potensi Bahaya Kerja Menggunakan Metode JSA Untuk Pengendalian K3 di PT XYZ	108 - 117
Jihan Syafira Zahra dan Rahmaniyah Dwi Astuti	
Analisis Risiko Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3) pada Laboratorium Aspal Teknik Sipil Universitas Global Jakarta dengan Metode HIRAC	118 - 125
Aulia Choiri Windari, Lasikun, Pringgo Widyo Laksono, Feri Nugroho, dan Legenda Pramesworo	
Evaluasi Eco-Efficiency dan Dampak Lingkungan dengan Life Cycle Assessment di UMKM Tempe Sukoharjo	126 - 138
Mathilda Sri Lestari, Suprpto, dan Sri Hartanti	
Evaluasi Lingkungan Kerja Fisik dan Postur Kerja untuk Meningkatkan Kenyamanan Membaca di Perpustakaan XYZ	139 - 147
Felix Rasyada Rafif, Ridho Muzaik Ramadhan, Lulu Riesta Nugroho, dan Zahara Intan Wigathie	

Evaluasi Teknologi dan Potensi Limbah yang dihasilkan oleh UKM Pengolahan Tempe: Studi Kasus Rumah Tempe Indonesia	148 - 156
Titi Candra Sunarti, Takbiratul Ikram, dan Desrial	
Inovasi Alat Pemberi Pakan dan Vitamin Otomatis dengan Pendekatan Biomekanika dan Postur Kerja pada Peternakan Z	157 - 165
Ulvi Sakinah, Khalisa Aurelia Listyafaiza, Amalia Salsabila, dan M Aldo Septiyandi	
Pengukuran Waktu Baku CMM Inspection Menggunakan Metode Jam Henti di PT. XYZ	166 - 174
Nessa Vindy Auglian dan Rahmadiyah Dwi Astuti	
Perancangan Alat Pembersih Kotoran Otomatis Pada Kandang Ternak Ayam Menggunakan Metode REBA dan Pendekatan Antropometri	175 - 186
Zahara Intan Wigathie, Lulu Riesta Nugroho, Ridho Muzaik Ramadhan, dan Felix Rasyada Rafif	
Studi Penilaian Risiko Lingkungan untuk Decommissioning Fasilitas Migas Lepas Pantai di Kawasan Selat Makassar	187 - 196
Arry Febrianto, Budi Suswanto, dan Irwan Susilo	
TOPIK SISTEM KUALITAS	
Analisis Kesiapan Implementasi ISO 9001:2015 Menggunakan Metode Gap Analysis pada Pabrik XYZ	197 - 204
Alia Prabandari, Nessa Vindy Auglian, Zinda Rud Sirr Amisesa, dan Fakhrina Fahma	
Analisis Penilaian Kualitas Karung NPK Phonska Subsidi Pada Proses Incoming Material Inspection di PT Petrokimia Gresik dengan Metode Six Sigma	205 - 212
Maulidan Mirza Tsany Gozali dan Ilham Priadythama	
Interaksi Hubungan Penilaian Infrastruktur Dalam Peningkatan Dimensi Ekologi & Kemiskinan Menuju IDM Desa Mandiri Berkelanjutan Desa Sidorejo, Tirtomoyo, Wonogiri	213 - 223
Iwan Ristanto, Tantin Pristiawati dan Suprpto	
Pemanfaatan Serat Kapuk Randu Sebagai Filler Pada Pembuatan Acoustic Board Berstruktur Sandwich	224 - 238
Nadya Indah Arifin, R. Hari Setyanto, dan Taufiq Rochman	
Pengembangan Produk Beras Porang Menggunakan Metode Quality Function Deployment (QFD)	239 - 247
Deasy Kartika Rahayu Kuncoro, Masyiroh Ifti Rosyidah Layyinah, Arif Harjanto	

Penilaian Kesiapan Implementasi ISO 9001:2015 Sistem Manajemen Mutu Menggunakan Metode Gap Analisis (Studi Kasus: Pabrik Brem Solo) 248 - 254

Erwin Agil Nur Rohmat, Azka Auliya Nurul Azizah, Maulidan Mirza Tsany Gozali, Shafira Maura Rasya, dan Fakhрина Fahma

Penilaian Kesiapan Implementasi Sistem Manajemen Mutu SNI/ISO 9001:2015 Menggunakan Metode Gap Analysis 255 - 262

Najla Dzakya Nur Haliza, Tanisa Adha Ningrum, Yashinta Putri Damayanti, dan Fakhрина Fahma

Penilaian Kesiapan Implementasi Standar Manajemen Mutu ISO 9001:2015 Studi Kasus Cv. Pratama Dengan Menggunakan Metode Gap Analysis 263 - 271

Kanaya Aurellia Hanieputri, Bunga Ayu Maharani, Yasmin Zulfa Agustin A, dan Fakhрина Fahma

Upaya Pengendalian Heat Exchanger Unit RCC PT. Kilang Pertamina Internasional RU-VI Balongan Menggunakan Siklus PDCA dan Seven Tools 272 - 279

Ridho Muzaik Ramadhan, Lulu Riesta Nugroho, Zahara Intan Wigathie dan dan Felix Rasyada Rafif

TOPIK SISTEM PRODUKSI

Analisis Efisiensi Boiler Menggunakan Metode Langsung (Studi Kasus di PT X) 280 - 286

Elita Amrina dan Haifa Nabila Alqadri

Penentuan Jumlah Produksi Menggunakan Peramalan di UMKM Naga Sakti 287 - 292

Vina Aurelia dan Fransiska Hernina Puspitasari

Perancangan Perbaikan Tata Letak Industri Ginger Leather Candies di CV Sari Sehat, Bogor 293 - 299

Hartrisari Hardjomidjojo, Muhammad Arif Darmawan, Elisa Anggraeni, Diaswan

Validasi Perencanaan Produksi Produk Aerostructure Menggunakan Metode Rough Cut Capacity Planning Dengan Pendekatan CPOF Departemen Production Planning PT Dirgantara Indonesia 300 - 311

Btara Aryanda, Bambang Suhardi

TOPIK SISTEM LOGISTIK DAN BISNIS

Analisis Perilaku Belanja dan Pengelompokan Pelanggan di Toko Ritel ABC Menggunakan Metode Clustering 312 - 321

Fajra Aqila Adesti, Sastyaviani Irami P, Ar Royyan Utama T, Nisrina Faiza Mufid, dan Samaya Dhiya Salindri

Analisis Pola Pembelian Konsumen di Minimarket ABC Menggunakan Metode AR-MBA 322 - 330

Distian Pingkan Lumi, Sastyaviani Irami Putri, dan Mutia Putri Gaisani

Implementasi Metode Association Rules-Market Basket Analysis Untuk Peningkatan Strategi Penjualan di Toko X 331 - 342

Samaya Dhiya Salindri, Nisrina Faiza Mufid, Ar Royyan Utama T., dan Fajra Aqila Adesti

Perencanaan Strategi Pemasaran pada Minimarket XYZ dengan metode AR-MBA 343 - 350

Firza Faturrahman, Prita Nurkhalisa Maradjabessy, dan Muhammad Idham Baihaqi

TOPIK KEINSINYURAN

Desain dan Spesifikasi Pompa untuk Distribusi Air di Pelabuhan Teluk Bayur 351 - 362

Ir. Benny Dwika Leonanda, ST., MT., IPM. ASEAN Eng.

Kajian Struktur Gedung Beton Berbentuk U Terbalik Terhadap Gempa dengan Perkuatan Bracing 363 - 367

Bima Husada, Hendramawat Aski Safarizki, Marwahyudi, dan Rida Handiana Devi

Optimalisasi Pekerjaan Badan Jalan Kereta Api antara Stasiun Barru – Stasiun Garungkong 368 - 375

Dasa Aprisandi

Pelat Shell Tipis Sebagai Alternatif Sistem Lantai Yang Eko-Efisien 376 - 380

Amin Sumadyo, Sri Yuliani, dan Purwanto Setyo Nugroho

Penggunaan Bentonit Yang Diaktivasi Secara Fisik Untuk Meningkatkan Kinerja Mesin Bensin 4-Langkah Tecumseh TD110 381 - 389

Herry Wardono, Simparmin Br Ginting, dan Wahyu Rahmatulloh

Perencanaan Pembangunan Gedung Pusat Terpadu Rumah Sakit Umum Daerah Sidoarjo 390 - 398

Lasikun, Aulia Choiri, Yusuf Mukhamad, Pringgo Widyo Laksono

Solar panel pada System Slope Stability Radar PT. GroundProbe Indonesia	399 - 407
Teddy Kurniawan, Jarot Setyowiyoto, dan Rahardian Dwitya	
Studi Perolehan Emas Pada Slag Hasil Pemurnian Bullion Emas Menggunakan Metode Pelindian Asam Klorida di PT Sucofindo Bekasi	408 - 415
Rizal Adianto, Infantri Putra, dan Fahny Ardian	
Studi Risiko Ekologi Kegiatan Decommissioning/In situ Abandonment Fasilitas Migas di Indonesia	416 - 423
Mashudi, Budi Suswanto, dan Irwan Susilo	

Analisis Multikriteria untuk Keputusan Pembelian Laptop: Penerapan Metode *Analytic Network Process* (ANP)

Muhammad Idham Baihaqi^{*1)}, Prita Nurkhalisa Maradjabessy²⁾, dan Firza Faturrahman³⁾

^{1,2,3)}Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia, Sleman, 55584,
Indonesia

Email: 25222222@students.uii.ac.id, 21522277@students.uii.ac.id, 21522338@students.uii.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini menggunakan metode *Analytical Network Process* (ANP) untuk mengatasi kompleksitas pengambilan keputusan dalam memilih laptop yang sesuai dengan kebutuhan, dengan mempertimbangkan hubungan antar elemen yang terlibat. Penelitian ini mencakup perhitungan nilai *phi*, *Consistency Index* (CI), dan *Consistency Ratio* (CR) untuk evaluasi konsistensi, pembentukan supermatriks, serta analisis bobot akhir. Hasilnya menunjukkan bahwa dari 15 nodes yang berpengaruh, laptop Asus menempati peringkat pertama dengan nilai tertinggi dalam berbagai metrik, diikuti oleh Lenovo dan HP. Rekomendasi dari penelitian ini menekankan pentingnya pengisian kuesioner yang konsisten, keterlibatan ahli, dan penggunaan *cluster* yang saling terkait untuk analisis yang lebih akurat.

Kata kunci: *Analytic Network Process* (ANP), *Consistency Index* (CI), Model Keterkaitan, Pemilihan Laptop, Supermatriks.

1. Pendahuluan

Pada abad ke-21, perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang pesat telah meningkatkan kebutuhan masyarakat, salah satunya adalah penggunaan laptop yang kini menjadi kebutuhan dasar baik untuk pendidikan maupun aktivitas lainnya. Laptop, sebagai perangkat keras portabel, memiliki komponen seperti layar, *keyboard*, *touchpad*, dan baterai yang terintegrasi dalam satu unit yang mudah dibawa. Perangkat ini membantu menyelesaikan berbagai tugas dengan cepat dan efisien, mengurangi risiko kesalahan dengan cara yang mudah. Namun, memilih laptop yang sesuai dengan kebutuhan dan anggaran menjadi tantangan karena persaingan antar merek sangat ketat, dengan setiap merek menawarkan karakteristik dan fitur yang berbeda. Dengan banyaknya pilihan laptop di pasaran berdasarkan harga dan fitur, konsumen sering kesulitan menentukan pilihan yang tepat. Setiap konsumen sering dihadapkan pada keputusan sulit saat memilih satu dari berbagai merek laptop yang tersedia (Saragih, 2013). Karena banyaknya komponen laptop yang mungkin masih baru bagi sebagian besar individu, pembeli sering kali tidak dapat memilih sesuai dengan kebutuhannya. Di sinilah sistem pendukung keputusan menjadi solusi alternatif yang efektif dan efisien. Sistem pendukung keputusan bermanfaat dalam memberikan pemahaman menyeluruh tentang situasi, berfungsi sebagai panduan dalam penerapan prosedur pengambilan keputusan, dan meningkatkan kualitas keputusan, sehingga membantu konsumen membuat pilihan yang lebih tepat sesuai dengan kebutuhan mereka.

Dalam proses pembuatan artikel digunakan beberapa referensi dari penelitian sebelumnya dengan beberapa aspek yang memiliki kesamaan baik dalam metode maupun jumlah data yang digunakan. Contoh penelitian yang digunakan adalah “Integration Dematel and ANP for The Supplier Selection in The Textile Industry: A Case Study” (Utama, 2021) dengan perbedaan dengan artikel ini adalah terdapat jaringan dengan *goals best design of CR*. Terdapat *main criteria* dengan *node performance*, *weight* dan *cost* lalu terdapat *sub-criteria* dengan *node deflection*, *mass*, *volume*, *raw material* dan *manufacturing cost*. Referensi penelitian selanjutnya adalah “Supplier selection in rubber industry using analytic network process (ANP) and technique for order preference methods by similarity to ideal solution” (Sembiring, 2019), perbedaan terdapat pada fokus penelitian, penelitian tersebut memiliki tujuan untuk memilih *supplier* bahan baku

pada industri karet dan perbedaan selanjutnya adalah penggunaan data yang menggunakan enam alternatif dan lima. Referensi penelitian selanjutnya adalah “Analisis Pemilihan Supplier Bahan Baku Roti dengan Metode ANP (Analytic Network Process) dan Rating Scale (Studi Kasus: Roti Gembong Kota Raja di Balikpapan)” (Sesa, 2021), penelitian ini menggunakan dua jaringan untuk menganalisis *supplier* tepung terigu. Perbedaan utama antara penelitian terkait terletak pada fokus penelitian, hasil dan struktur jaringan dari metode ANP.

Penelitian ini berfokus pada penggunaan metode Analytic Network Process (ANP) yang dikembangkan oleh Thomas L. Saaty pada tahun 1990 sebagai perpanjangan dari Analytic Hierarchy Process (AHP). ANP digunakan untuk memecahkan masalah kompleks yang melibatkan banyak aspek yang saling berhubungan dengan menyediakan kerangka kerja yang lebih besar untuk memodelkan keterkaitan antara elemen-elemen dalam sistem yang rumit. Tujuan penelitian ini adalah menetapkan prioritas utama (*Cluster*) dalam pemilihan laptop dengan menggunakan ANP untuk memastikan bahwa topik penelitian tetap dalam batasan metode ini. Metode yang digunakan mencakup penilaian saling ketergantungan dan dampak dari berbagai komponen, dengan alternatif yang diuraikan berdasarkan komponen yang dipilih oleh para ahli dari toko komputer 'Starcomp' di Jogja. Dengan menerapkan ANP untuk menetapkan prioritas utama dalam pemilihan laptop, penelitian ini memberikan kerangka kerja yang lebih terperinci dan relevan untuk mengatasi kompleksitas dan keterkaitan antara berbagai komponen, yang menegaskan pentingnya dan urgensi penelitian ini dalam membantu pengambilan keputusan yang lebih efektif di toko komputer.

2. Metode

Analytic Network Process (ANP) merupakan suatu metode pengambilan keputusan yang dikembangkan dari metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP), ANP memiliki metode yang lebih fleksibel dan dapat digunakan untuk menyelesaikan berbagai macam masalah dan mampu menangani masalah atau kekurangan yang terdapat dalam AHP seperti pengetahuan keterkaitan antar kriteria atau alternatif. Dengan kemampuan untuk menangkap kompleksitas hubungan antar elemen dan beberapa faktor maka ANP dapat membantu pengambilan Keputusan dalam pilihan yang lebih tepat dan terinformasi dengan baik (Pungkasanti, 2017).

Dalam metode ANP (*Analytical Network Process*) dilakukan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Membentuk sebuah struktur hierarki dari jaringan keputusan yang menggambarkan hubungan antara berbagai faktor keputusan dan membangun model keterkaitan.
2. Menyusun matriks perbandingan berpasangan antara faktor-faktor yang mempengaruhi keputusan. Matriks ini diperlukan untuk menghitung dampaknya pada berbagai alternatif yang dibandingkan menggunakan skala rasio pengukuran 1-9.

Tabel 2.1 Perbandingan Berpasangan

Skala	Definisi	Penjelasan
1	Sama besar pengaruhnya	Kedua faktor mempunyai pengaruh yang sama
3	Sedikit lebih besar Pengaruhnya	Penilaian salah satu faktor sedikit lebih berpihak dibandingkan pasangannya

Skala	Definisi	Penjelasan
5	Salah satu faktor lebih besar pengaruhnya	Penilaian salah satu faktor lebih kuat dibandingkan faktor pasangannya
7	Salah satu faktor sangat lebih besar pengaruhnya	Suatu faktor lebih kuat dan dominasinya terlihat dibandingkan pasangannya
9	Salah satu faktor mutlak sangat lebih besar pengaruhnya	Sangat jelas bahwa suatu faktor amat sangat berpengaruh dibandingkan pasangannya
2,4,6,8	Nilai tengah sebagai kompromi di antara dua penilaian yang berdekatan	Diberikan bila terdapat keraguan diantara dua penilaian yang berdekatan
Kebalikan aij =1/ aij	Jika untuk aktivitas i mendapat satu angka dibandingkan dengan aktivitas j, maka j mempunyai nilai kebalikannya dibandingkan dengan i	

3. Lakukan perhitungan bobot elemen.
4. Menghitung vektor bobot kepentingan relatif dari faktor-faktor. Tingkat ketidakkonsistenan pada respon disebut sebagai rasio ketidakkonsistenan (CR). Cara menghitung CR adalah sebagai berikut:
 - a. Nilai perbandingan berpasangan dikalikan secara matriks dengan bobot (eigen) untuk menghasilkan suatu nilai hasil, kemudian dibagi dengan nilai eigen setiap baris untuk mendapatkan nilai rata-rata.
 - b. Nilai phi diperoleh dari jumlah nilai hasil dibagi dengan jumlah indikator yang dibandingkan.
 - c. Nilai indeks konsistensi (CI) diperoleh dari perhitungan nilai phi dikurangi jumlah indikator, lalu dibagi dengan jumlah indikator dikurangi 1.
 - d. Nilai rasio konsistensi (CR) didapatkan dengan membagi nilai indeks konsistensi dengan indeks rasio..
5. Membentuk supermatriks dan melakukan analisis. Supermatriks adalah salah satu matriks yang terdiri dari vektor bobot kepentingan relatif. Kemudian, supermatriks tersebut dinormalisasi sehingga jumlah angka-angka di setiap kolom pada supermatriks bernilai satu.
6. Menghitung bobot akhir dengan menaikkan supermatriks ke pangkat $2n+1$, di mana n adalah sembarang angka besar hingga stabilitas bobot tercapai, yaitu ketika nilai-nilai dalam supermatriks tidak berubah saat dikalikan dengan dirinya sendiri, atau sering disebut konvergen.

2.1 Pengumpulan Data

1. Metode Observasi

Observasi adalah salah satu metode pengumpulan data yang melibatkan melakukan pengamatan langsung terhadap objek penelitian, menganalisis sistem yang berjalan, dan memberikan pendapat atau solusi yang berharga.

2. Teknik Wawancara

Metode wawancara adalah teknik pengumpulan data melalui tindakan seperti berbicara langsung dengan petani di fasilitas penelitian, merancang bahan, dan membangun Sistem Pendukung Keputusan (Arianovi, 2018).

2.2 Penentuan Cluster dan Node

Cluster dan *node* yang digunakan pada model ANP (*Analytical Network Process*) dengan topik “Pemilihan Laptop dengan metode ANP (*Analytical Network Process*)” Terdapat lima *cluster* dengan tiga *node* pada masing masing *cluster*

1. Webcam

Webcam merupakan kamera dari suatu perangkat yang ada di laptop yang bisa disebut seperti kamera digital. Fungsi dari *webcam* yakni mempermudah dalam mengolah data seperti pesan cepat menjadi chat melalui video atau seperti *video*. Pada *cluster* ini terdapat tiga *node* yang terdiri dari *Resolusi*, *Frame Rate* dan *Autofocus*.

A. Resolusi

Resolusi adalah perubahan terkecil dalam nilai input pengukuran yang masih dapat mempengaruhi atau menghasilkan perubahan pada output pengukuran. Ini menunjukkan tingkat ketelitian atau sensitivitas suatu alat pengukur dalam mendeteksi variasi kecil dalam parameter yang sedang diukur. Semakin tinggi resolusinya, semakin mampu alat tersebut mengidentifikasi perubahan kecil (Nataliani, Soelami, & Budi, 2014).

B. Frame rate

Video adalah kumpulan gambar diam yang ditampilkan secara berurutan dalam suatu rentang waktu dengan kecepatan tertentu. Gambar-gambar yang digabungkan ini disebut *frame*, sedangkan kecepatan di mana gambar-gambar tersebut ditampilkan disebut *frame rate*. Semakin tinggi *frame rate*, semakin halus pergerakan yang terlihat dalam video, karena lebih banyak *frame* yang ditampilkan per detik, menciptakan ilusi gerakan yang lebih realistis (Diwi, M, & Wahidah, 2014).

C. Autofocus

Autofokus adalah fitur yang sering digunakan pada kamera digital, terutama saat memotret menggunakan *viewfinder* pada kamera DSLR. Secara sederhana, fitur ini bekerja dengan memisahkan intensitas cahaya yang masuk melalui dua lensa. Mekanisme ini memungkinkan kamera untuk secara otomatis menyesuaikan fokus, sehingga gambar yang dihasilkan menjadi tajam dan jelas. *Autofokus* meningkatkan kenyamanan dan kecepatan dalam pengambilan gambar, terutama dalam situasi di mana fokus manual sulit dilakukan. (Saliama & Wibowo, 2020).

2. Bentuk Fisik

Menurut Vitruvius, tidak ada istilah bentuk. Adapun Vitruvius berkata bahwa bentuk sudah pasti, jika kita ingin mengkaitkannya dengan fungsi/utilitas, merupakan gabungan antara firmistas (rekayasa) dan venustas (keindahan/menarik) (Drs. R. Irawan Surasetja, 2007). Pada *cluster* ini terdapat tiga *node* yang terdiri dari Model, Warna laptop dan Dimensi.

A. Model

Desain produk, menurut William J. Staton (2005), merupakan salah satu komponen dari desain citra produk. Faktor pembeda antara produk perusahaan dan produk lain mungkin desain yang khas atau berbeda. (Affandi, 2013).

B. Warna Laptop

Warna adalah warna, intensitas, dan nada permukaan bentuk. Warna adalah fitur yang paling mencolok yang membedakan bentuk dari lingkungannya. Warna mempengaruhi berat yang dirasakan dari suatu bentuk juga (Drs. R. Irawan Surasetja, 2007).

C. Dimensi

Dimensi bentuk adalah panjang, lebar, dan tingginya. Proporsi ditentukan oleh dimensi ini. Skalanya ditetapkan dengan membandingkan ukurannya dengan bentuk lain di sekitarnya (Drs. R. Irawan Surasetja, 2007).

3. Layar

Ini berguna untuk menampilkan data di layar. Karena monitor ini menampilkan semua aktivitas komputer, pengguna memiliki akses ke semuanya. Akibatnya, monitor berfungsi sebagai perangkat output. Pada *cluster* ini terdapat tiga *node* yang terdiri dari FPS (*Frame Per Second*), Tipe panel dan *Color gamut*.

A. FPS (*Frame Per Second*)

Frame rate (dinyatakan dalam *frame* per detik atau fps) adalah jumlah frame gambar atau *frame* yang disajikan setiap detik dalam membuat gambar bergerak; Semakin besar angka FPS, semakin halus gambar bergerak.

B. Tipe panel

Panel mengontrol cahaya yang ditampilkan. Panel ini sering terdiri dari dua lembar bahan polarisasi yang disatukan oleh larutan kristal cair, sehingga ketika arus listrik mengalir melalui cairan, kristal meluruskan cahaya yang melewatinya.

C. *Color gamut*

Gamut warna adalah ruang warna dengan rentang warna paling banyak jika dibandingkan dengan ruang warna lainnya; Ini mencakup semua warna yang terlihat oleh mata manusia dan dimaksudkan untuk menjadi standar di seluruh dunia untuk mengedit foto bit tinggi. Sensasi yang dihasilkan oleh sistem visual manusia sebagai hasil dari stimulasi radiasi elektromagnetik yang dikenal sebagai Cahaya.

4. Mesin

Mesin adalah perangkat yang ditenagai oleh kekuatan atau daya dan digunakan untuk membantu manusia mengerjakan barang atau potongan produk tertentu. Komponen fisik yang membentuk laptop dan memungkinkannya berfungsi sebagai perangkat komputer portabel disebut sebagai mesin pada laptop. Pemilihan komponen berdampak pada kinerja, kualitas tampilan, masa pakai baterai, dan pengalaman pengguna (Putri, 2017). Pada kriteria ini terdapat tiga Sub-kriteria yang terdiri dari *Processor*, *Storage* dan *Graphic card*.

A. *Processor*

CPU adalah salah satu variabel paling signifikan untuk dipertimbangkan ketika membeli laptop karena akan sangat berguna untuk kinerja laptop. CPU adalah komponen paling signifikan dari laptop karena berfungsi sebagai otak laptop. Ada berbagai faktor yang perlu dipertimbangkan ketika memilih laptop *gaming* tergantung pada prosesor: kecepatan clock GHz (Giga Hertz), jumlah *core* otak (*core*), teknologi *hyper threading*, dan kapasitas *cache* (Sunarsa & Handayani,

2016).

B. *Storage device*

Kriteria ini merupakan komponen penting untuk menyimpan data tanpa batas. Logika menentukan bahwa semakin banyak kapasitas, semakin baik kinerjanya. Selanjutnya, *hard disk drive* menentukan kecepatan transfer data dan membaca banyak *driver* di laptop (Sunarsa & Handayani, 2016).

C. *Graphic card*

Video Graphics Array (VGA) atau kartu grafis adalah kriteria komputer yang sangat penting; berbagai panggilan, seperti desain grafis, animator, dan sebagainya, membutuhkan VGA (Sunarsa & Handayani, 2016).

5. Audio

Audio adalah suara atau bunyi-bunyian yang diciptakan oleh getaran suatu benda, yang harus cukup kuat untuk ditangkap oleh telinga manusia minimal 20 kali/detik suara adalah getaran yang dihasilkan oleh gesekan, pantulan, dan faktor-faktor lain di antara benda-benda. Sementara gelombang adalah getaran yang terdiri dari amplitudo dan waktu, suara terdiri dari periode; Kalau tidak, itu bukan suara (Harahap, 2021). Pada *cluster* ini terdapat tiga *node* yang terdiri dari *Stereo speaker*, *Monoaural speaker* dan *Mini cone speaker*

A. *Stereo speaker*

Perekaman audio stereo bertujuan untuk menciptakan ilusi pemetaan suara dalam sebuah lagu dengan menghasilkan perbedaan waktu, volume, dan penempatan (*panning*) suara. Audio ini dirancang untuk memberikan pengalaman mendengarkan yang lebih hidup dan realistis bagi pendengar. Dengan memanfaatkan perbedaan kecil dalam waktu kedatangan dan intensitas suara di kedua telinga, *stereo recording* dapat menciptakan kesan bahwa suara datang dari berbagai arah dan jarak, meningkatkan kedalaman dan dimensi dalam musik yang direkam (Kharoris, Kustap, & patria, 2023).

B. *Monoaural speaker*

Monoaural, mengacu pada sistem audio yang menggunakan satu saluran atau *channel* tunggal. Dalam tipe monoaural, biasanya hanya ada satu mikrofon dan satu *loudspeaker*, atau satu saluran sinyal.

C. *Mini cone speaker*

Speaker paling umum ditemukan di laptop. *Speaker* ini biasanya terdiri dari diafragma kerucut kecil yang bergetar untuk menghasilkan suara. Karena ukurannya yang kecil, mereka memberikan suara yang lebih mendasar dan mungkin kurang mendalam. Kerucut adalah komponen terpenting dari *loudspeaker* portabel. Pada prinsipnya, semakin besar kerucut, semakin besar luas permukaan di mana udara dapat bergerak, sehingga suara yang diambil pembicara juga akan meningkat (Faruk, 2017).

2.3 Perhitungan ANP

Adapun langkah-langkah penyelesaian metode ANP sebagai berikut:

1. Pengumpulan data yang diperlukan untuk menganalisis Keputusan.
2. Menyusun struktur masalah dan mengembangkan model keterkaitan.
3. Membuat matriks perbandingan berdasarkan penilaian dari pengambilan keputusan berdasarkan kepentingan suatu elemen atau kriteria.
4. Menentukan eigen vector dari matriks berpasangan, rumus yang dapat digunakan sebagai berikut:

$$X_i = \sum \left(\frac{w_i}{w_{jx}} \right) / n \quad (1)$$

Keterangan:

X_i = Eigen vector ke-i

W_{ij} = Nilai sel kolom dalam satu baris ($i, j = 1 \dots n$)

W_j = Jumlah total kolom

n = jumlah matriks yang dibandingkan

5. Menghitung matriks normalisasi dengan kriteria yang dirumuskan, Adapun rumus yang dapat digunakan sebagai berikut:

$$L_i = \frac{a_{ij}}{\sum w_j} \quad (2)$$

6. Memeriksa nilai konsistensi dengan aturan bahwa nilai rasio konsistensi harus 10% atau kurang dari 10%. Adapun rumus yang dapat digunakan untuk mencari λ_{maks} sebagai berikut:

$$\lambda_{maks} = (\lambda_1 \times W_1) + (\lambda_2 \times W_2) + (\lambda_3 \times W_3) + \dots + (\lambda_i \times W_i) \quad (3)$$

Keterangan:

λ_{maks} = Nilai eigen terbesar

λ_i = Nilai eigen pada baris ke-i

W_j = Jumlah total kolom ke-j

7. Menghitung nilai *consistency ratio*. Matriks perbandingan dapat dikatakan konsisten apabila menghasilkan nilai *consistency ratio* tidak lebih dari 10%, dengan nilai *random index* yang dapat dilihat pada table dan rumus untuk mencari *consistency ratio* sebagai berikut:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3)$$

Keterangan:

CR = Consistency Ratio

CI = Consistency Index

RI = Random Index

8. Membuat supermatriks pada tingkat kepentingan dalam setiap elemen maupun *cluster* dengan dipresentasikan dalam sebuah matriks skala rasio perbandingan berpasangan.
9. Melakukan bobot dari semua elemen dan komponen atau bisa disebut dengan prioritas
10. Menentukan bobot alternatif atau sintesis yang dibedakan menjadi tiga bobot yaitu bobot *raw*, bobot normal dan bobot ideal.
11. Analisis sensitivitas merupakan sebuah pendekatan yang digunakan untuk memeriksa konsistensi suatu pilihan dengan parameter faktor dan mengamati perubahan ranking.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Analisis Network

Digunakan tiga alternatif dalam pemilihan laptop. Yaitu Asus, HP dan Lenovo. Dipilihnya ketiga laptop tersebut karena memiliki reputasi dari kualitas yang teruji, banyaknya variasi produk dan harga yang kompetitif.

3.2 Analisis Perbandingan Berpasangan

Terdapat beberapa hasil perbandingan berpasangan seperti *cluster* dengan alternatif, *node* dengan *cluster*, *cluster* dengan *cluster*. Adapun hasil yang didapatkan untuk hasil uji konsistensi *cluster* bentuk fisik dengan alternatif Asus sebesar $0.06239 \leq 0.1$ sehingga dapat dibenarkan perhitungannya. *Cluster* layar dengan alternatif Asus sebesar $0.09040 \leq 0.1$ sehingga dapat dibenarkan perhitungannya. *Cluster* mesin dan alternatif Asus sebesar $0.06239 \leq 0.1$ sehingga dapat dibenarkan perhitungannya. *Cluster speaker* dan alternatif Asus sebesar $0.09040 \leq 0.1$ sehingga dapat dibenarkan perhitungannya. *Cluster webcam* dan alternatif Asus sebesar $0.00885 \leq 0.1$ sehingga dapat dibenarkan perhitungannya. *Cluster* bentuk fisik dengan alternatif HP sebesar $0.00355 \leq 0.1$ sehingga dapat dibenarkan perhitungannya. *Cluster* layer dengan alternatif HP sebesar $0.06239 \leq 0.1$ sehingga dapat dibenarkan perhitungannya. *Cluster* mesin dengan alternatif HP sebesar $0.09040 \leq 0.1$ sehingga dapat dibenarkan perhitungannya. *Cluster speaker* dengan alternatif HP sebesar $0.05156 \leq 0.1$ sehingga dapat dibenarkan perhitungannya. *Cluster webcam* dengan alternatif HP sebesar $0.02795 \leq 0.1$ sehingga dapat dibenarkan perhitungannya. *Cluster* bentuk fisik dengan alternatif Lenovo sebesar $0.08247 \leq 0.1$ sehingga dapat dibenarkan perhitungannya. *Cluster* layer dengan alternatif Lenovo sebesar $0.09609 \leq 0.1$ sehingga dapat dibenarkan perhitungannya. *Cluster* mesin dengan alternatif Lenovo sebesar $0.06239 \leq 0.1$ sehingga dapat dibenarkan perhitungannya. *Cluster speaker* dengan alternatif Lenovo sebesar $0.01361 \leq 0.1$ sehingga dapat dibenarkan perhitungannya. *Cluster webcam* dengan alternatif Lenovo sebesar $0.08247 \leq 0.1$ sehingga dapat dibenarkan perhitungannya. *Node* dimensi dengan *cluster* alternatif sebesar $0.00885 \leq 0.1$ sehingga dapat dibenarkan perhitungannya. *Node* model dengan *cluster* alternatif sebesar $0.02795 \leq 0.1$ sehingga dapat dibenarkan perhitungannya. *Node* warna dengan *cluster* alternatif sebesar $0.02795 \leq 0.1$ sehingga dapat dibenarkan perhitungannya. *Node color gamut* dengan *cluster* alternatif sebesar $0.02795 \leq 0.1$ sehingga dapat dibenarkan perhitungannya. *Node* FPS dan *cluster* alternatif sebesar $0.05156 \leq 0.1$ sehingga dapat dibenarkan perhitungannya. *Node* tipe panel dengan *cluster* alternatif sebesar $0.06239 \leq 0.1$ sehingga dapat dibenarkan perhitungannya. *Node graphic card* dengan *cluster* alternatif sebesar $0.01759 \leq 0.1$ sehingga dapat dibenarkan perhitungannya. *Node Processor* dengan *cluster* alternatif sebesar $0.06239 \leq 0.1$ sehingga dapat dibenarkan perhitungannya. *Node storage* dengan *cluster* alternatif sebesar $0.01759 \leq 0.1$ sehingga dapat dibenarkan perhitungannya. *Node mini cone speaker* dengan *cluster* alternatif sebesar $0.07069 \leq 0.1$ sehingga dapat dibenarkan perhitungannya. *Node monoaural speaker* dengan *cluster* alternatif sebesar $0.03703 \leq 0.1$ sehingga dapat dibenarkan perhitungannya. *Node stereo speaker* dengan *cluster* alternatif sebesar $0.03112 \leq 0.1$ sehingga dapat dibenarkan perhitungannya. *Node autofocus* dengan *cluster* alternatif sebesar $0.01759 \leq 0.1$ sehingga dapat dibenarkan perhitungannya. *Node frame rate* dengan *cluster* alternatif sebesar $0.06239 \leq 0.1$ sehingga dapat dibenarkan perhitungannya. *Node* resolusi dengan *cluster* alternatif sebesar $0.03703 \leq 0.1$ sehingga dapat dibenarkan perhitungannya.

Cluster dengan cluster sebesar $0.03703 \leq 0.1$ sehingga dapat dibenarkan perhitungannya.

3.3 Analisis Hasil Model ANP

3.3.1 Unweighted Supermatrix

	Asus	HP	Lenovo	Dimensi	Model	Warna	Color G~	FPS	Tipe Pa~	Graphic~	Process~	Storage	Mini Co~	Monaura~	Stereo ~	Autofoc~	Frame R~	Resolusi
Asus	0.00000	0.00000	0.00000	0.53961	0.65864	0.68334	0.64422	0.69096	0.73064	0.48441	0.64912	0.55842	0.61441	0.63699	0.70494	0.54995	0.73064	0.63699
HP	0.00000	0.00000	0.00000	0.16342	0.15618	0.11685	0.08522	0.09140	0.08096	0.09242	0.07193	0.12196	0.11722	0.10473	0.08414	0.20984	0.18839	0.10473
Lenovo	0.00000	0.00000	0.00000	0.29696	0.18517	0.19981	0.27056	0.21764	0.18839	0.42317	0.27896	0.31962	0.26837	0.25828	0.21092	0.24021	0.08096	0.25828
Dimensi	0.73064	0.47211	0.67381	0.00000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Model	0.18839	0.44427	0.22554	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Warna	0.08096	0.08361	0.10065	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Color G~	0.68925	0.73064	0.17135	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
FPS	0.07950	0.18839	0.75841	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Tipe Pa~	0.31125	0.08096	0.07825	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Graphic~	0.27895	0.16553	0.73064	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Process~	0.64912	0.60981	0.18839	0.00000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Storage	0.07193	0.22466	0.08096	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Mini Co~	0.19469	0.08522	0.07506	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Monaura~	0.08808	0.27056	0.33322	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Stereo ~	0.71723	0.64422	0.59173	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Autofoc~	0.08096	0.08110	0.08213	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Frame R~	0.32339	0.34200	0.54981	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Resolusi	0.58763	0.57691	0.36806	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

Gambar 3.1 Unweighted Supermatrix

Hasil dari Unweighted Supermatrix hasil dari *super decision* memberikan gambaran tentang bobot relatif dari setiap node pada alternatif laptop Asus, HP, dan Lenovo tanpa mempertimbangkan preferensi atau prioritas. Dalam analisis ini, terlihat bahwa Asus memiliki bobot tertinggi pada beberapa nodes seperti Dimensi, Model, Warna, dan Color gamut. HP menunjukkan bobot yang lebih rendah dibandingkan Asus, dengan nilai bobot terendah pada beberapa nodes seperti FPS, Tipe panel, dan Graphic card. Sementara Lenovo menempati posisi di tengah-tengah antara Asus dan HP pada sebagian besar nodes yang dihasilkan. Dari hasil Unweighted Supermatrix ini, dapat disimpulkan bahwa Asus memiliki kontribusi yang signifikan dan lebih dominan dalam beberapa aspek tertentu dibandingkan HP dan Lenovo. Meskipun analisis ini tidak memperhitungkan preferensi, namun memberikan gambaran tentang distribusi bobot relatif dari setiap node pada ketiga alternatif laptop. Oleh karena itu, Asus tetap menjadi pilihan yang menonjol dalam analisis ini berdasarkan bobot relatif yang dimilikinya.

3.3.2 Weighted Supermatrix

	Asus	HP	Lenovo	Dimensi	Model	Warna	Color G~	FPS	Tipe Pa~	Graphic~	Process~	Storage	Mini Co~	Monaura~	Stereo ~	Autofoc~	Frame R~	Resolusi
Asus	0.00000	0.00000	0.00000	0.53961	0.48124	0.68334	0.64422	0.06893	0.21961	0.48441	0.64912	0.55842	0.61441	0.63699	0.70494	0.54995	0.73064	0.63699
HP	0.00000	0.00000	0.00000	0.16342	0.11411	0.11685	0.08522	0.00912	0.02433	0.09242	0.07193	0.12196	0.11722	0.10473	0.08414	0.20984	0.18839	0.10473
Lenovo	0.00000	0.00000	0.00000	0.29696	0.13530	0.19981	0.27056	0.02171	0.05663	0.42317	0.27896	0.31962	0.26837	0.25828	0.21092	0.24021	0.08096	0.25828
Dimensi	0.05684	0.03673	0.05242	0.00000	0.08096	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Model	0.01466	0.03456	0.01754	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Warna	0.00630	0.00550	0.00783	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Color G~	0.18997	0.21703	0.05090	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.65943	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
FPS	0.02362	0.05596	0.22290	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Tipe Pa~	0.09245	0.02405	0.02324	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Graphic~	0.12967	0.07695	0.33964	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.90225	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Process~	0.30174	0.28347	0.08757	0.00000	0.18839	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Storage	0.03343	0.10443	0.03764	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Mini Co~	0.02246	0.00983	0.00866	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Monaura~	0.01016	0.03122	0.03845	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Stereo ~	0.08276	0.07433	0.06828	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Autofoc~	0.00400	0.00364	0.00369	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Frame R~	0.01453	0.01557	0.02471	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Resolusi	0.02641	0.02593	0.01654	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

Gambar 3.2 Weighted Supermatrix

Berdasarkan hasil dari Weighted Supermatrix hasil dari *super decision*, terlihat bahwa bobot atau nilai relatif dari setiap node pada alternatif laptop Asus, HP, dan Lenovo. Asus memiliki bobot tertinggi pada beberapa nodes, seperti Dimensi, Warna, Color gamut, Processor, dan Stereo speaker dengan nilai limit sebesar 0.28231. HP memiliki bobot yang lebih rendah dibandingkan Asus, dengan nilai bobot terendah pada beberapa nodes seperti FPS, Tipe panel, dan Graphic card dengan nilai limit sebesar 0.04440. Sementara itu, Lenovo menunjukkan bobot yang berada di tengah-tengah antara Asus dan HP pada sebagian besar nodes dengan nilai limit sebesar 0.14305. Dari analisis Weighted Supermatrix ini, dapat disimpulkan bahwa Asus memiliki bobot yang signifikan dan konsisten lebih tinggi dibandingkan HP dan Lenovo dalam banyak aspek yang

dievaluasi. Oleh karena itu, berdasarkan penilaian bobot relatif ini, Asus dapat dianggap sebagai pilihan yang paling optimal dalam konteks pemilihan laptop berdasarkan metode ANP.

3.3.3 Limit Matrix

Asus	HP	Lenovo	Dimensi	Model	Warna	Color G-	FPS	Tipe Pa-	Graphic~	Process~	Storage	Mini Co-	Monaura~	Stereo ~	Autofoc~	Frame R~	Resolusi
Asus	0.28231	0.28231	0.28231	0.28231	0.28231	0.28231	0.28231	0.28231	0.28231	0.28231	0.28231	0.28231	0.28231	0.28231	0.28231	0.28231	0.28231
HP	0.04440	0.04440	0.04440	0.04440	0.04440	0.04440	0.04440	0.04440	0.04440	0.04440	0.04440	0.04440	0.04440	0.04440	0.04440	0.04440	0.04440
Lenovo	0.14305	0.14305	0.14305	0.14305	0.14305	0.14305	0.14305	0.14305	0.14305	0.14305	0.14305	0.14305	0.14305	0.14305	0.14305	0.14305	0.14305
Dimensi	0.02584	0.02584	0.02584	0.02584	0.02584	0.02584	0.02584	0.02584	0.02584	0.02584	0.02584	0.02584	0.02584	0.02584	0.02584	0.02584	0.02584
Model	0.00818	0.00818	0.00818	0.00818	0.00818	0.00818	0.00818	0.00818	0.00818	0.00818	0.00818	0.00818	0.00818	0.00818	0.00818	0.00818	0.00818
Warna	0.00319	0.00319	0.00319	0.00319	0.00319	0.00319	0.00319	0.00319	0.00319	0.00319	0.00319	0.00319	0.00319	0.00319	0.00319	0.00319	0.00319
Color G-	0.08933	0.08933	0.08933	0.08933	0.08933	0.08933	0.08933	0.08933	0.08933	0.08933	0.08933	0.08933	0.08933	0.08933	0.08933	0.08933	0.08933
FPS	0.04104	0.04104	0.04104	0.04104	0.04104	0.04104	0.04104	0.04104	0.04104	0.04104	0.04104	0.04104	0.04104	0.04104	0.04104	0.04104	0.04104
Tipe Pa-	0.03049	0.03049	0.03049	0.03049	0.03049	0.03049	0.03049	0.03049	0.03049	0.03049	0.03049	0.03049	0.03049	0.03049	0.03049	0.03049	0.03049
Graphic~	0.12555	0.12555	0.12555	0.12555	0.12555	0.12555	0.12555	0.12555	0.12555	0.12555	0.12555	0.12555	0.12555	0.12555	0.12555	0.12555	0.12555
Process~	0.11184	0.11184	0.11184	0.11184	0.11184	0.11184	0.11184	0.11184	0.11184	0.11184	0.11184	0.11184	0.11184	0.11184	0.11184	0.11184	0.11184
Storage	0.01946	0.01946	0.01946	0.01946	0.01946	0.01946	0.01946	0.01946	0.01946	0.01946	0.01946	0.01946	0.01946	0.01946	0.01946	0.01946	0.01946
Mini Co-	0.00802	0.00802	0.00802	0.00802	0.00802	0.00802	0.00802	0.00802	0.00802	0.00802	0.00802	0.00802	0.00802	0.00802	0.00802	0.00802	0.00802
Monaura~	0.00975	0.00975	0.00975	0.00975	0.00975	0.00975	0.00975	0.00975	0.00975	0.00975	0.00975	0.00975	0.00975	0.00975	0.00975	0.00975	0.00975
Stereo ~	0.03643	0.03643	0.03643	0.03643	0.03643	0.03643	0.03643	0.03643	0.03643	0.03643	0.03643	0.03643	0.03643	0.03643	0.03643	0.03643	0.03643
Autofoc~	0.00182	0.00182	0.00182	0.00182	0.00182	0.00182	0.00182	0.00182	0.00182	0.00182	0.00182	0.00182	0.00182	0.00182	0.00182	0.00182	0.00182
Frame R~	0.00832	0.00832	0.00832	0.00832	0.00832	0.00832	0.00832	0.00832	0.00832	0.00832	0.00832	0.00832	0.00832	0.00832	0.00832	0.00832	0.00832
Resolusi	0.01097	0.01097	0.01097	0.01097	0.01097	0.01097	0.01097	0.01097	0.01097	0.01097	0.01097	0.01097	0.01097	0.01097	0.01097	0.01097	0.01097

Gambar 3.3 Limit Matrix

Berdasarkan hasil dari Limit Matrix hasil dari *super decision*, dapat disimpulkan bahwa Asus memiliki nilai Limit tertinggi sebesar 0.28231, menunjukkan tingkat preferensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan HP dan Lenovo. Di sisi lain, HP memiliki nilai Limit sebesar 0.04440, menempatkannya pada posisi terendah dalam analisis perbandingan. Sedangkan Lenovo memiliki nilai Limit sebesar 0.14305, menempatkannya di antara Asus dan HP dalam hal preferensi. Hasil dari Limit Matrix ini memberikan gambaran yang jelas tentang prioritas atau bobot yang diberikan pada setiap alternatif laptop, dengan Asus menjadi pilihan utama berdasarkan nilai Limit tertinggi yang dimilikinya. Oleh karena itu, dalam konteks pemilihan laptop berdasarkan analisis menggunakan metode ANP, Asus dapat dijadikan rekomendasi yang paling sesuai untuk dipilih sebagai solusi yang optimal.

3.3.4 Synthesized

Name	Graphic	Ideals	Normals	Raw
Asus		1.000000	0.600956	0.282307
HP		0.157290	0.094524	0.044404
Lenovo		0.506726	0.304520	0.143052

Gambar 3.4 Synthesized Alternatif

Berdasarkan hasil *super decision*, dapat diketahui hasil perhitungan beberapa alternatif laptop. Alternatif Asus menempati alternatif paling tinggi dengan nilai Synthesized Ideals sebesar 1, Synthesized Normals sebesar 0.600956, dan Synthesized Raw sebesar 0.282307. Sementara itu, alternatif HP berada pada tingkat ketiga menunjukkan hasil perhitungan dengan nilai Synthesized Ideals sebesar 0.157290, Synthesized Normals sebesar 0.094524, dan Synthesized Raw sebesar 0.044404. Terakhir, alternatif Lenovo menempati tingkat kedua yang memiliki hasil perhitungan dengan nilai Synthesized Ideals sebesar 0.506726, Synthesized Normals sebesar 0.304520, dan Synthesized Raw sebesar 0.143052.

4. Simpulan

Dari analisis dari penelitian menggunakan metode Analytical Network Process (ANP) menunjukkan terdapat total 15 *nodes* yang berpengaruh dalam pengambilan Keputusan dengan melibatkan masing-masing *cluster* memiliki tiga *nodes*, berdasarkan peringkat yang diberikan maka diperoleh alternatif laptop dengan tiga urutan, yakni Asus dengan peringkat pertama dengan nilai *Synthesized Ideals* sebesar 1, *Synthesized Normals* sebesar 0.600956, *Synthesized Raw* 0.282307. Lenovo pada peringkat kedua dengan nilai *Synthesized Ideals* sebesar 0.506726,

Synthesized Normals sebesar 0.094524, *Synthesized Raw* 0.044404 dan HP pada peringkat ketiga dengan nilai *Synthesized Ideals* sebesar 0.506726, *Synthesized Normals* sebesar 0.304520, *Synthesized Raw* 0.143052. Rekomendasi yang dapat diberikan berdasarkan hasil penelitian adalah perlunya perhatian lebih dalam mengisi kuesioner untuk memastikan konsistensi data dan melibatkan seorang ahli dalam bidang tersebut serta menggunakan cluster yang memiliki keterkaitan antar elemen untuk analisis yang lebih akurat dan terstruktur.

Daftar Pustaka

- Affandi. (2013). ANALISIS FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI KONSUMEN DALAM PEMILIHAN LAPTOP. (*Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta*), 10.
- Arianovi, I. &. (2018). Sistem Penunjang Keputusan Penentuan Pembelian Laptop Di Global Komputer Dengan Metode Analytical Hierarchy Process (Ahp). *PROCIDING KMSI*, 6(1), 200-206, 3.
- Diwi, A. I., M, R. R., & Wahidah, d. I. (2014). Analisis Kualitas Layanan Video Live Streaming Pada Jaringan Lokal Universitas Telkom. *Buletin Pos dan Telekomunikasi*, 12(3), 207-216.
- Drs. R. Irawan Surasetja, M. (2007). FUNGSI, RUANG, BENTUK DAN EKSPRESI DALAM ARSITEKTUR. *FTKP-UPI. Hand-out Mata Kuliah Pengantar Arsitektur*.
- Faruk, Z. (2017). RANCANG BANGUN ALAT BANTU JALAN TUNANETRA DENGAN TONGKAT CERDAS BERBASIS ADRUINO. (*Doctoral dissertation, Institut Teknologi Nasional Malang*).
- Harahap, R. (2021). Implementasi Algoritma Skipjack Untuk Mengamankan Audio. *TIN: Terapan Informatika Nusantara*, 2(1), 29-34.
- Kharoris, S. G., Kustap, & patria, E. (2023). Penggunaan Teknik Miking XY Pada Sesi Perekaman Lagu Aduhai Indonesia Untuk NabilaRahmat Gitar Duo di Fisella. *IDEA: Jurnal Ilmiah Seni Pertunjukan*, 17(1).
- Nataliani, R., Soelami, F. N., & Budi, d. E. (2014). Pembuatan Perangkat Keras dan Analisis Sub-Metering. *Program Studi Teknik Fisika – Institut Teknologi Bandung*.
- Pungkasanti, P. T. (2017). Penerapan analytic network process (ANP) pada sistem pendukung keputusan. *Jurnal Transformatika*, 14(2), 66-71.
- Putri, D. A. (2017). Analisis Sistem Pemeliharaan Mesin dengan Metode Preventive dan Breakdown Maintenance untuk Meminimumkan Biaya Pemeliharaan Mesin di Cv Nj Food Industries Bandung. *Prosiding Manajemen*, 902-906.
- Saliama, J. S., & Wibowo, T. (2020). Studi Komparasi Teknik Antara DSLR dan Smartphone Photography. *In Conference on Business, Social Sciences and Innovation Technology (Vol. 1, No. 1, pp. 439-451)*.
- Saragih, S. H. (2013). Penerapan Metode Analytical Hierarchy Process (AHP) pada Sistem Pendukung Keputusan Pemilihan Laptop. *Pelita Informatika Budi Darma*, 4(2), 82-88.
- Sembiring, N. M. (2019). Supplier selection in rubber industry using analytic network process (ANP) and technique for order preference methods by similarity to ideal solution. *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 508, No. 1, p. 012091)*. IOP Publishing.
- Sesa, L. A. (2021). Analisis Pemilihan Supplier Bahan Baku Roti dengan Metode ANP (Analytic Network Process) dan Rating Scale (Studi Kasus: Roti Gembong Kota Raja di Balikpapan). *Jurnal Optimalisasi*, 7(1), 35-47.
- Sunarsa, S., & Handayani, R. I. (2016). SISTEM PENDUKUNG KEPUTUSAN PEMILIHAN LAPTOP UNTUK Karyawan Pada PT. Indotekno Dengan Menggunakan Metode Analytical Hierarchy Process. *JITK (Jurnal Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi Komputer)*, 2(1), 5-10.
- Utama, D. M. (2021). Integration Dematel and ANP for the supplier selection in the textile industry: A case study. *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 20(1), 119-130.

Pemilihan Kriteria Utama Penentuan Lokasi Cabang Industri Kreatif Melalui Penerapan Metode *Analytical Network Process*

Atiqoh Fairuz Hamidah^{*1)}, Hadi Ramadhan²⁾, dan Igoh Satria Futra Pratama³⁾

¹⁾Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia, Jalan Kaliurang KM 14,5, Sleman, 55584, Indonesia

²⁾ Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia, Jalan Kaliurang KM 14,5, Sleman, 55584, Indonesia

³⁾ Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia, Jalan Kaliurang KM 14,5, Sleman, 55584, Indonesia

Email: 22522123@students.uii.ac.id, 22522298@students.uii.ac.id, 21522350@students.uii.ac.id

ABSTRAK

Pertumbuhan ekonomi daerah dapat sangat terbantu oleh keberadaan ekonomi kreatif yang selain menjadi daya tarik wisata, namun juga sebagai pembangun ciri khas dari suatu daerah, salah satunya adalah industri gerabah. Perluasan wilayah bisnis dapat menjadi salah satu kunci pertumbuhan wilayah ekonomi. Penelitian ini digunakan sebagai alat identifikasi daerah yang berpotensi sebagai sasaran perluasan industri serta wisata edukasi gerabah pada Provinsi Daerah Indah Yogyakarta. Penelitian menggunakan metode *Analytical Network Process* untuk mengidentifikasi 5 *cluster* yang digunakan sebagai variabel yang mempengaruhi keputusan dengan masing-masing *cluster* memuat 3 *node*. Hasil analisis *output* ANP dengan menggunakan *software* SuperDecisions menunjukkan bahwa Kabupaten Kulon Progo sebagai daerah utama ekspansi bisnis dan Kabupaten Sleman menjadi daerah prioritas akhir untuk ekspansi bisnis industri kreatif gerabah.

Kata kunci: ANP, Gerabah, Industri Kreatif, Lokasi Usaha, SuperDecisions

1. Pendahuluan

Ekonomi di Indonesia pada tahun 2023 diperkirakan masih tetap mempertahankan kekuatannya di tengah prospek penurunan ekonomi global. Data dari Kedeputian Bidang Ekonomi Kementerian PPN menyebutkan ekonomi Indonesia dapat bertumbuh dalam kisaran 5,3-5,5 persen yang di mana sejalan dengan tingkat konsumsi masyarakat serta inflasi yang kembali ke tingkat yang telah diprediksi bank sentral (Kapriadi, 2022). Investasi, Peningkatan Industri juga pariwisata serta gencarnya pertumbuhan ekonomi kreatif menjadi salah satu katalis pertumbuhan ekonomi di Indonesia. Pihak terkait, sumber daya yang dimiliki daerah serta kebijakan internal wilayah menjadi sangat berpengaruh terhadap proses pengembangan wilayah (Diartho, 2018).

Pengembangan wilayah dalam definisinya merupakan sebuah keputusan yang diambil untuk memanfaatkan secara penuh setiap potensi yang dimiliki untuk mencapai kondisi yang lebih baik sebagai bagian dari kepentingan masyarakat umum (Diartho, 2018), khususnya secara nasional. Bentuk pengembangan daerah tidak akan luput dari pembangunan ekonomi lokal yang datang memanfaatkan segala komoditas serta potensi yang dapat dimanfaatkan baik sumber daya alam, maupun sumber daya manusianya sebagai strategi untuk pertumbuhan ekonomi lokal selayaknya konsep LED (*Local Economy Development*) (Aulia & Siswanto, 2018). Salah satunya adalah melalui industri ekonomi kreatif.

Dalam definisi secara umum, industri kreatif merupakan konsep di era ekonomi modern yang menitikberatkan inovasi serta kemunculan ide-ide baru dari produsen dengan roda pasar yang berputar, serta adaptasi perkembangan industri dengan perubahan era menjadi tantangan

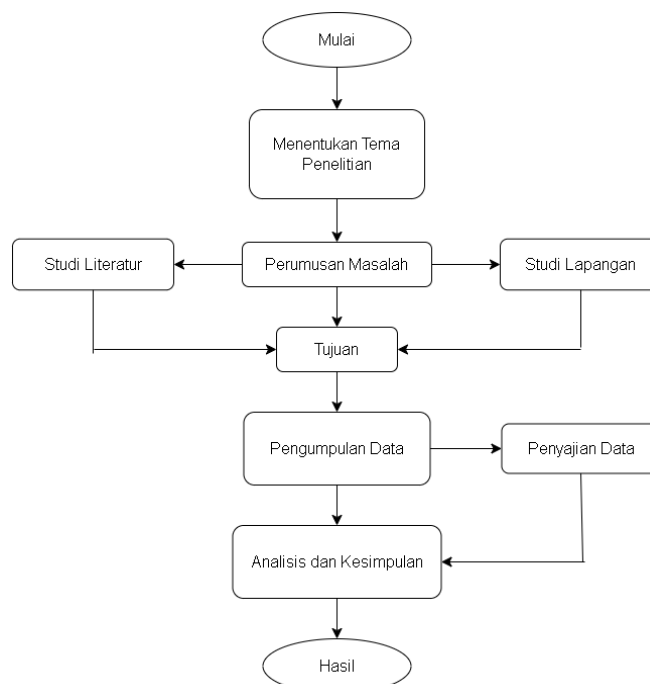
tersendiri bagi produsen di industri kreatif maupun non-kreatif. Salah satunya adalah perluasan wilayah industri serta penetapan daerah yang nantinya diharapkan akan jadi pusat kegiatan industri oleh pemerintah pusat. Penentuan lokasi cabang industri kreatif ini dapat berupa pembukaan toko kerajinan baru di kota atau wilayah yang berbeda. Hal ini adalah untuk mempermudah pelanggan dalam mendapatkan akses ke toko kerajinan yang dimaksud dengan lebih mudah tanpa harus menempuh perjalanan yang memakan waktu pada saat liburan yang singkat. Pemilihan lokasi cabang toko kerajinan gerabah ini membutuhkan pertimbangan yang matang karena kesuksesan dan kegagalan toko cabang yang baru dapat langsung berdampak ke sentra utama toko kerajinan gerabah, sehingga dibutuhkan sistem pendukung keputusan yang dapat membantu pemilik toko kerajinan dalam pemilihan lokasi cabang toko kerajinan gerabah Kasongan di Daerah Istimewa Yogyakarta.

Penentuan lokasi cabang dari industri kreatif menggunakan beberapa *cluster* tertentu (*Multi Criteria Decision Making*), yaitu potensi pasar, bahan baku, lingkungan, harga lahan serta aksesibilitas. Beberapa *node* lain yang merupakan percabangan dari *cluster* juga ikut diperhitungkan menggunakan skala 1-9, dengan skala 1 sama dengan kepentingan setara (*equal importance*) dan skala 9 yang sama dengan kepentingan mutlak di atas kepentingan lain (*extreme importance*). Data yang didapatkan dari *expert* selanjutnya dapat di-*input* ke dalam aplikasi SuperDecisions untuk mendapatkan perhitungan *Consistency Ratio* secara otomatis. *Output* dari perhitungan selanjutnya dapat langsung menunjukkan seberapa besar masing-masing keputusan dapat menjadi keputusan yang optimal melalui bobot *ideal*.

2. Metode Penelitian

2.1 Langkah Penelitian

Untuk memecahkan masalah terkait dengan pendukung pengambilan keputusan untuk para pemilik industri kreatif yang pada umumnya menjual barangnya sebagai oleh-oleh dari suatu daerah. Terdapat beberapa tahapan yang digunakan untuk mendukung penyelesaian penelitian. Adapun langkah-langkah yang digunakan mencakup penentuan tema, perumusan masalah dan tujuan penelitian, pengumpulan data dan analisis.



Gambar 1. Alur Penelitian

1. Identifikasi Masalah dan Tujuan Masalah

Permasalahan yang ditemukan pada pemilik beberapa industri kreatif merujuk pada keinginan untuk membentuk lokasi cabang toko hingga ke beberapa daerah lain di kabupaten yang berbeda. Dorongan keinginan ini adalah karena banyaknya pembeli kesulitan untuk mencapai lokasi pusat industri kreatif sehingga untuk mendapatkan barang kerajinan gerabah, pembeli harus menempuh puluhan kilometer untuk dapat mencapai lokasi (Pangestu & Fitriati, 2018).

2. Pengumpulan Data

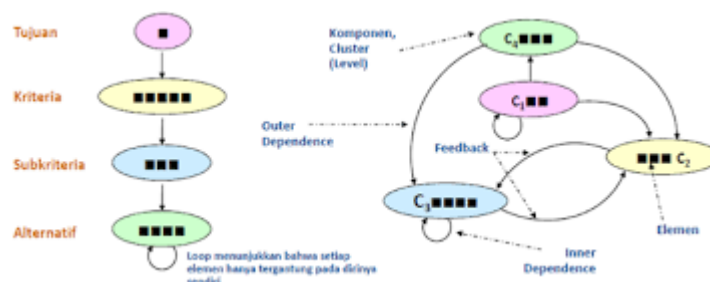
Data yang digunakan untuk pengolahan berasal dari pendapat *expert* mengenai tingkat pengaruh suatu kriteria di atas kriteria yang lain. Pengambilan data ini dilakukan melalui wawancara langsung dengan pemilik toko kerajinan gerabah yang telah memiliki pelanggan hingga mancanegara di wilayah Kasongan, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta.

3. Analisis Hasil

Tahapan ini mencakup pengolahan data yang didapat dengan menggunakan metode pendukung pengambilan keputusan multi-faktor, yaitu *Analytical Network Process*.

2.2 Metode Analytical Network Process

Secara umum, ANP atau *Analytical Network Process* merupakan bagian dari sistem pengambilan keputusan multi-kriteria (Multi Criteria Decisions Making) bersama dengan AHP (Susanto, et al., 2023). Metode ANP merupakan metode lebih berkembang yang lebih kompleks dengan hasil yang lebih stabil serta pengambilan data yang lebih objektif. Penggunaan konsep besar pengaruh antara satu *node* ke *node* yang lain baik pada *cluster* yang sama maupun pada *cluster* yang berbeda, membuat ANP dapat menjabarkan penilaian yang lebih objektif jika dibandingkan dengan AHP. Perbedaan paling jelas antara AHP dan ANP adalah pada keterkaitan yang dimiliki antar kriteria (Sianturi & Wahyuni, 2023).



Gambar 2. Hubungan Antar Cluster dan Node

Jika pada AHP ditanyakan “seberapa penting elemen satu terhadap elemen lain?”, konsep dasar ANP lebih menekankan pada pengaruh yang dimiliki elemen satu di atas elemen lainnya terhadap pengambilan keputusan (Rumpun et al., 2015).

2.3 Tahapan Penyelesaian ANP

Berikut adalah tahapan metode ANP (Abdillah et al., 2018):

a. Merancang model keterkaitan dan pengambilan data

Berdasarkan dari model keterkaitan yang telah dibentuk dengan membuat hubungan antar *cluster* dan *node* yang telah ditetapkan melalui riset, seorang *expert* kemudian

diwawancarai untuk menentukan skala prioritas dari perbandingan antar elemen dengan menggunakan skala 1-9.

Tabel 1. Definisi Skala Perbandingan Berpasangan

Intensitas Kepentingan	Definisi
1	Sama pengaruhnya antar elemen
3	Sedikit lebih berpengaruh dibanding yang lain
5	Lebih berpengaruh dibanding yang lain
7	Sangat berpengaruh dibanding yang lain
9	Ekstrem pengaruhnya dibanding yang lain
2,4,6,8	Nilai di antara dua penilaian yang berdekatan

- b. Membentuk matriks perbandingan berpasangan dari cluster dan node.

Tabel 2. Perbandingan Berpasangan

	A1	A2	A3	An
A1	A11	A21	A31	An1
A2	A12	A22	A32	An2
A3	A13	A23	A33	An3
Am	A1m	A2m	A3m	Anm

- c. Menghitung eigenvektor dari perbandingan berpasangan menggunakan rumus:

$$X = \frac{\sum \left(\frac{W_{ij}}{\sum W_j} \right)}{n} \quad (1)$$

X = Eigenvektor

W_{ij} = Nilai Sel kolom dalam satu baris

$\sum W$ = Jumlah total kolom

n = Jumlah matriks yang dibandingkan

Langkah berikutnya adalah dengan menghitung rasio konsistensinya, di mana nilai ini didapatkan dari pembagian antara nilai CI (*Consistency Index*) dan RI (*Ratio Index*). Saaty berpendapat bahwa suatu matriks yang didapatkan melalui hasil perbandingan yang dilakukan secara acak dikatakan sebagai matriks yang mutlak tidak konsisten. Sehingga nilai CI tidak sepenuhnya digunakan untuk menggambarkan matriks konsisten (Jannah et al., 2021).

$$CR = CI / RI \quad (2)$$

CR = *Consistency Ratio*

CI = *Consistency Index*

RI = *Ratio Index*

- d. Membentuk Supermatriks

Terdapat beberapa matriks yang digunakan pada metode ANP yang menggambarkan hubungan keterkaitan antara elemen dalam *network*. Dikutip dari Abdillah et.al. pada tahun 2018, terdapat tiga supermatriks pada ANP:

1. *Unweighted Supermatrix*

Supermatriks ini didapatkan dari perolehan nilai *eigenvector* dari perbandingan berpasangan antara masing-masing elemen.

2. *Weighted Supermatrix*

Weighted supermatrix didapatkan dari pembagian antara nilai pada *unweighted supermatrix* dengan tiap bobot pada nilai prioritas perbandingan berpasangan.

3. Limiting Supermatrix

Limiting supermatrix merupakan bentuk nilai stabil dari hasil iterasi berdasarkan dari nilai pada *weighted supermatrix* sehingga dapat menjadi acuan pembobotan global.

e. Sintesis Perhitungan

Pada tahap ini, nilai *limiting matrix* kemudian dibagi menjadi 3 bobot untuk menunjukkan hasil keputusan akhir dengan perhitungan bobot *raw*, bobot *normal* dan bobot *ideal*.

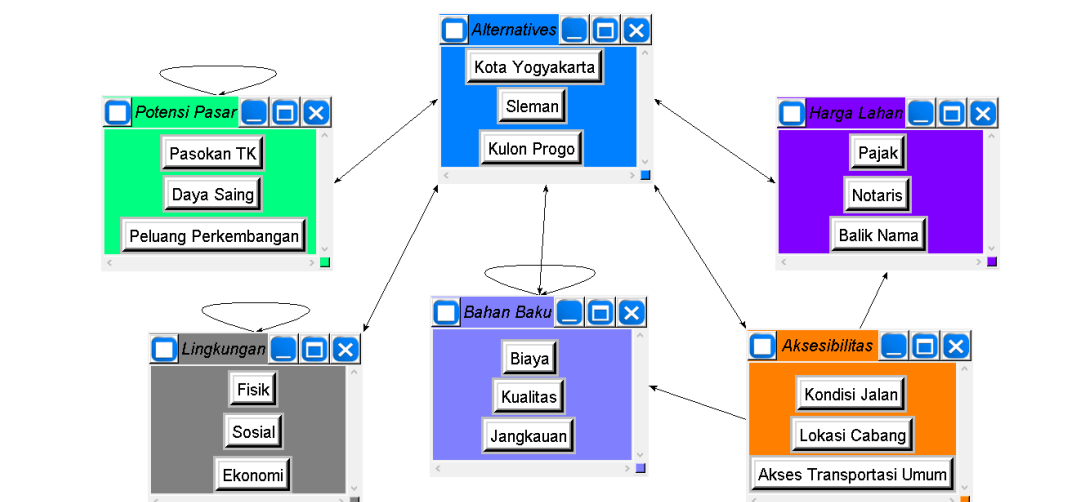
- Bobot *Raw*
Bobot yang didapatkan dari hasil bobot alternatif dari hasil *limiting matrix*.
- Bobot *Normal*
Hasil bobot alternatif seperti yang tertera pada bobot *normalized by cluster*.
- Bobot *Ideal*
Bobot *ideal* diperoleh dari pembagian antara bobot normal dengan bobot normal yang paling besar dari perhitungan masing-masing alternatif.

3. Hasil dan Pembahasan

Dalam penentuan lokasi cabang industri kerajinan gerabah yang menjadi tujuan keputusan *Analytical Network Process*, terdapat beberapa *cluster* pertimbangan. *Cluster-cluster* tersebut berhubungan langsung pada alternatif, namun beberapa lainnya memiliki node atau sub-cluster yang berbeda. Pengolahan data dengan menggunakan software SuperDecisions kemudian menghasilkan model hubungan antar *cluster* dan antar *node* yang dijabarkan dalam tabel berikut

Tabel 3. Sampel Perbandingan Berpasangan Antara Alternatif dan *Cluster*

Alternatives	Potensi Pasar	Lingkungan	Bahan Baku	Aksesibilitas	Harga Lahan
Kota Yogyakarta	A1	B1	C1	D1	E1
Sleman	A2	B2	C2	D2	E2
Kulon Progo	A3	B3	C3	D3	E3



Gambar 3. Hubungan Antar Kriteria dan Sub-Kriteria Pemilihan Lokasi Cabang Toko

Beberapa *node* pada beberapa *cluster* memiliki pengaruh kepada *node* pada *cluster* yang lain dan beberapa lainnya mempengaruhi *node* dari *cluster* yang sama. Pengaruh ini

didasarkan pada pemikiran rasional dan studi literatur. Dalam *inner dependency* menggambarkan panah hubungan *node* yang saling berpengaruh pada satu *cluster* yang sama. Dalam model keterkaitan di atas, terdapat tiga *cluster* dengan hubungan *inner dependency*, contohnya Daya Saing dan Peluang Perkembangan. Besarnya daya saing yang dimiliki suatu industri akan meningkatkan peluang perkembangan industri tersebut hingga dapat melebarkan cabangnya. Kemudian, kualitas dari suatu bahan baku dapat mempengaruhi harga dari bahan baku tersebut. Semakin baik kualitasnya akan semakin mahal harga bahan baku tersebut. Sama halnya dengan keterkaitan pada lingkungan ekonomi dan sosial, di mana lingkungan ekonomi pada suatu daerah dapat berpengaruh secara psikologis terhadap lingkungan sosial (bagaimana kehidupan sehari-hari terjadi, mulai dari penentuan pekerjaan, sikap masyarakat dll) di daerah tersebut.

Tabel 4. Inner Dependency

<i>Inner Dependency</i>		Alasan
Daya Saing	Peluang Perkembangan	Besarnya daya saing akan meningkatkan peluang perkembangan industrinya.
Kualitas Bahan Baku	Biaya Bahan Baku	Kualitas suatu bahan baku dapat berpengaruh pada biayanya.
Lingkungan Ekonomi	Lingkungan Sosial	Lingkungan ekonomi suatu daerah berpengaruh secara psikologis terhadap lingkungan sosialnya.

Outer dependency dapat dikatakan sebagai keterkaitan antar node pada *cluster* yang berbeda. Model keterkaitan di atas menunjukkan dua hubungan node antar *cluster* yang berbeda, yaitu Lokasi Industri dan Pajak. Lokasi industri pada kabupaten yang berbeda memiliki besaran pajak yang berbeda. Oleh karena itu, keduanya memiliki keterkaitan searah dan disebut sebagai *outer dependency*. Begitu juga dengan node Kondisi Jalan dan Jangkauan ke Bahan Baku, Kondisi Jalan yang baik dapat meningkatkan persentase kapabilitas jangkauan distributor bahan baku, begitu pun sebaliknya.

Tabel 5. Outer Dependency

<i>Outer Dependency</i>		Alasan
Lokasi Industri	Pajak	Lokasi pada kabupaten yang berbeda memiliki besaran pajak yang berbeda.
Kondisi Jalan	Jangkauan	Kondisi Jalan yang baik meningkatkan persentase kapabilitas jangkauan distributor.

Pada model keterkaitan, hubungan timbal balik terjadi hanya pada alternatif ke masing-masing *node*, sehingga menunjukkan bahwa kedua elemen saling berpengaruh terhadap satu sama lain.

Penggunaan hubungan rasional antar *node* pada *cluster* yang berbeda menimbulkan hasil pembobotan skala 1-9 pada *software* SuperDecisions dengan nilai inkonsistensi tidak lebih dari 0,1. Dengan standar pembobotan yang didefinisikan melalui skala tertentu pada tabel di bawah ini, melalui konsiderasi pengaruh yang dimiliki masing-masing *node* pada *node* lainnya. Berdasarkan dari tabel pembobotan oleh *expert* kemudian diidentifikasi nilai interaksi antar *cluster* dan *node* menggunakan bobot *unweighted*, bobot *weighted* dan *limiting matrix*.

- a. *Unweighted Matrix*
Perhitungan *unweighted supermatrix* merupakan hasil pembobotan perbandingan berpasangan antar *node* dengan *cluster*, dilakukan dengan memasukkan nilai *eigen vector* dari nilai perbandingan berpasangan yang telah didapat.
- b. *Weighted Matrix*
Weighted supermatrix merupakan pembobotan berdasarkan matriks perbandingan berpasangan antar *cluster*. Caranya adalah dengan mengalikan *unweighted supermatrix* dengan matriks *cluster* (Rumpuin et al., 2015).
- c. *Limiting Matrix*
Perhitungan yang mengangkat *weighted supermatrix* dengan dirinya sendiri secara terus menerus hingga setiap kolom pada baris yang sama memiliki nilai yang sama (Abdillah et.al., 2018). Nilai *Limiting matrix* didapatkan dari kalkulasi otomatis dari *software*.

3.1 Peringkat Kriteria

Peringkat kriteria berisi tingkatan kriteria yang paling berpengaruh berdasarkan dari akumulasi bobot masing-masing sub-kriteria. Penentuan peringkat pada kriteria didasarkan pada kriteria mana yang paling berpengaruh pada keputusan berdasarkan dari pendapat *expert* atau dikatakan bahwa kriteria memiliki nilai *local weight* yang paling besar diantara kriteria yang lain. Seperti yang tertera pada Tabel 4, didapatkan urutan paling atas untuk kriteria yang paling mempengaruhi keputusan *expert* adalah Potensi Pasar dengan bobot local sebesar 0,1509. Hal ini menunjukkan bagi seorang pemilik toko industri kerajinan gerabah, seberapa besar potensi pasar yang dimiliki oleh wilayah pembukaan lokasi cabang toko yang baru dapat menjadi hal yang sangat berpengaruh.

Potensi pasar sendiri merupakan kemampuan beli pasar yang dapat dikembangkan melalui perluasan ukuran pasar dan daya tarik produk yang ditawarkan (Sumiati dkk., 2022). Kriteria kedua adalah bahan baku dengan bobot local sebesar 0,187979, dimana kemungkinan pembukaan lokasi cabang toko industri kerajinan gerabah melibatkan kelas pembuatan kerajinan gerabah untuk umum. Hal ini menunjukkan bahwa pembukaan lokasi cabang toko memerlukan pertimbangan mengenai kesediaan Bahan Baku seperti tanah liat. Kriteria ketiga adalah Harga Lahan dengan bobot lokal sebesar 0,1509 yang dinilai tidak begitu berpengaruh sebesar Potensi Pasar dan Bahan Baku menurut pendapat *expert*. Kemudian pada peringkat ke-4 dan ke-5 diisi oleh kriteria Lingkungan dan Aksesibilitas dengan bobot lokal masing-masing sebesar 0,0663 dan 0,01585. Berdasarkan dari peringkat bobot lokal dari seluruh kriteria, dapat dikatakan bahwa kedua kriteria tersebut mendapat peringkat terendah berdasarkan pengaruhnya pada keputusan *expert* dalam pemilihan lokasi cabang toko kerajinan gerabah.

Tabel 6. Bobot Kriteria

Kriteria	Local Weight	Peringkat
Potensi Pasar	0,195095	1
Bahan Baku	0,187979	2
Harga Lahan	0,150916	3
Lingkungan	0,066300	4
Aksesibilitas	0,015850	5
Total	1	

3.2 Peringkat Lokasi Keputusan

Pembobotan menggunakan nilai yang didapatkan dari *limiting matrix* selanjutnya digunakan untuk menentukan bobot *raw*, *normal* dan *ideal*. Output SuperDecisions terhadap perhitungan dari pembobotan tersebut menyatakan bahwa Kulon Progo menjadi tempat dengan bobot ideal bernilai 1 yang menyatakan bahwa Kulon Progo menjadi pilihan terbaik.

Tabel 7. Bobot Alternatif

Alternatif	Global Weight	Peringkat
Kulon Progo	0,129443	1
Kota Yogyakarta	0,165490	2
Sleman	0,103374	3

Hasil yang didapatkan dari pengolahan dengan menggunakan *software* SuperDecisions menunjukkan bahwa Kulon Progo menjadi lokasi prioritas untuk membuka cabang kerajinan industri kreatif gerabah. Selanjutnya, keputusan ini dapat menjadi pertimbangan bagi pengusaha kerajinan gerabah dalam ekspansi toko kerajinannya.

4. Simpulan

Terdapat beberapa *cluster* dan *node (sub-cluster)* yang dapat digunakan sebagai penentuan lokasi cabang dari usaha kerajinan gerabah, diantaranya adalah Aksesibilitas, Bahan Baku, Harga Lahan, Potensi Pasar, dan Lingkungan. Masing-masing cluster memuat node sendiri, cluster Potensi Pasar yang memuat node Pasokan Tenaga Kerja, Peluang Perkembangan dan Daya Saing, cluster Lingkungan yang memuat Lingkungan Fisik, Sosial dan Ekonomi, cluster Aksesibilitas yang memuat Kondisi Jalan, Lokasi Cabang dan Akses Transport Umum, cluster Bahan Baku yang memuat node Biaya, Kualitas dan Jangkauan, dan yang terakhir cluster Harga Lahan yang memuat node Balik Nama, Pajak dan Notaris. Cluster dan node tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar penentuan alternatif solusi yang terdiri dari Kota Yogyakarta, Sleman, dan Kulon Progo. Berdasarkan hasil penelitian, didapatkan bahwa kriteria dengan pengaruh paling besar dimulai dari kriteria Potensi Pasar, Bahan Baku, Harga Lahan, Lingkungan dan dengan pengaruh paling kecil pada keputusan adalah Aksesibilitas. Nilai paling besar terletak pada alternatif Kulon Progo dengan nilai ideal yang menunjukkan angka 1 sehingga pilihan dianggap sebagai pilihan terbaik.

Daftar Pustaka

- Abdillah, M., Ilhamsyah, I., & Hidayati, R. (2018). Penerapan Metode Analytic Network Process (ANP) Berbasis Android Sebagai Sistem Pendukung Keputusan Dalam Pemilihan Tempat Kos. *Maha Abdillah, Ilhamsyah, Rahmi Hidayati*, 6(3), 12–22.
- Aulia, B. U., & Siswanto, V. K. (2018). Determination of micro and medium enterprises development needs based on business characteristics in Dolly. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 202(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/202/1/012067>
- Abdillah, M., Ilhamsyah, & Rahmi, H. (2018). Penerapan Metode Analytical Network Process (ANP) Berbasis Android Sebagai Sistem Pendukung Keputusan Dalam Pemilihan Tempat Kos. *Jurnal Coding, Rekayasa Sistem Komputer Untan*, 12-22.

- Diartho, H. C. (2018). Pengembangan Wilayah Perdesaan Berbasis Pada Potensi Sumber Daya Alam di Kabupaten Bondowoso. *Jurnal Ilmu Ekonomi dan Studi Pembangunan*, 102-122.
- Jannah, M., Putra, K. O., & Tambunan, L. (2021). Penerapan Metode Analytic Network Process (ANP) Dalam Menentukan Penerima Bantuan Langsung Tunai (BLT). *Jurnal Sains dan Teknologi Informasi*.
- Kapriadi, A. Y. (2022). *Gagasan Kolektif Menuju Pemulihan dan Pertumbuhan yang Berkelanjutan*. Banten: PKN STAN.
- Pangestu, A., & Fitriati, D. (2018). Sistem Pendukung Keputusan Pemetaan Industri Kreatif Indonesia Sektor Kerajinan Menggunakan Metode Simple Additive Weighting. 557-564.
- Rumpun, D., Lawalata, V. O., & Rahawarin, M. (2015). Analisis Keputusan Untuk Pemilihan Mesin Produksi Menggunakan Metode Analytic Network Process (ANP): Studi Kasus Pada UD. Pelangi. *Arika*, 9(1), 11–22
- Sianturi, A. V., & Wahyuni, L. (2023). Perbandingan Metode ANP dan AHP Pemilihan Siswa Berprestasi pada SD Negeri 060862 Berbasis Online. *PROSIDING SEMINAR ILMIAH SISTEM INFORMASI DAN TEKNOLOGI INFORMASI* (pp. 115-124). Makassar: Universitas Dipa Makassar.
- Susanto, E., Ghiardhany, Othman, N. A., Praseptiawan, M., Imran, A., & Hendriana, Y. (2023). A Network-Multi-Criteria Decision Analysis with Super Decision for Vendor Selection in the Automotive Component Industry. *Malaysian Journal of Consumer and Family Economics (MAJCAFE)*, 125-154.

Penentuan Penerima Program Keluarga Harapan (PKH) dengan Metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP)

Samaya Dhiya Salindri^{*1)}, Prita Nurkhalisa Maradjabessy²⁾, dan Firza Faturrahman³⁾

^{1,2,3)}Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia, Sleman, 55584,
Indonesia

Email: 22522107@students.uii.ac.id, prita.maradjabessy@students.uii.ac.id, 21522338@students.uii.ac.id

ABSTRAK

Program Keluarga Harapan (PKH) merupakan salah satu program bantuan sosial yang diberikan pemerintah Indonesia untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat miskin. Untuk menentukan target penerima bantuan sosial PKH agar tepat sasaran diperlukan pertimbangan secara hati-hati sehingga bantuan sosial tidak disalah gunakan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan penerima bantuan sosial yang tepat di kabupaten Purbalingga. Kriteria dan sub-kriteria yang digunakan adalah pendapatan, kepala rumah tangga (sub-kriteria usia, status pekerjaan, dan pendidikan), kepemilikan fasilitas (sub-kriteria layanan kesehatan, layanan pendidikan, akses teknologi informasi dan komunikasi), kondisi tempat tinggal (sub-kriteria dinding, luas, lantai), kualitas pangan. Dari kelima kriteria dan sub-kriteria tersebut, akan dilakukan pembobotan kriteria dengan metode *Analytical Hierarchy Process*. Ny. Kamsun merupakan prioritas pertama penerima bantuan sosial PKH. Rekomendasi untuk penelitian selanjutnya dapat menggunakan lebih dari lima kriteria dan sub-kriteria yang dibandingkan sehingga hasil dapat lebih akurat.

Kata kunci: *Analytical Hierarchy Process*, Kriteria, Program Keluarga Harapan

1. Pendahuluan

Indonesia menempati urutan keempat negara dengan penduduk terbanyak di dunia. Total penduduk Indonesia akan terus bertambah secara signifikan dalam tiga dekade mendatang, diperkirakan terdapat 341 juta orang pada tahun 2050 dengan mata pencaharian yang berbeda-beda (Witra *et al.*, 2020). Berdasarkan dari pendapatan yang diperoleh, sebagian besar penduduk belum mampu memenuhi kebutuhan primernya. Dapat dikatakan sebagian besar masyarakat Indonesia jauh dari berkecukupan. Kemiskinan merupakan salah satu permasalahan sosial yang sulit diatasi karena memiliki sifat kompleks dipengaruhi oleh berbagai latar belakang yang ada. Menurunkan tingkat kemiskinan merupakan tujuan utama Indonesia. Akan tetapi, hingga saat ini belum terselesaikan hingga akarnya (Arifin, 2020). Oleh karenanya, upaya penanggulangan kemiskinan telah banyak dilakukan, salah satunya adalah bantuan sosial (Vita Ferezagia, 2018). Pemerintah telah banyak meluncurkan bantuan sosial untuk meningkatkan kesejahteraan hidup masyarakat miskin. Salah satu program bantuan sosial yang diluncurkan adalah Program Keluarga Harapan (PKH). Program bantuan sosial ini dikenal dengan istilah *Conditional Cash Transfers* (CCT) di luar negeri yang mana terbukti cukup efektif mengatasi masalah kemiskinan di beberapa negara. PKH telah berjalan selama 16 tahun sejak 2007 (Supriyanto *et al.*, 2022). Namun, di kabupaten Purbalingga, alokasi PKH baru diberikan sejak tahun 2014. Meskipun telah lama dilaksanakan, dalam kenyataannya PKH masih memiliki banyak kendala. Beberapa kendala dalam pelaksanaan PKH adalah minimnya keterlibatan pemerintah di tingkat desa/kelurahan. Selain itu, terdapat juga kendala dalam penyerahan PKH yang tidak tepat sasaran karena pendamping yang kurang memperhatikan dan menyeleksi data penerima manfaat bantuan sosial.

Program Keluarga Harapan (PKH) menjadi belum sepenuhnya efektif karena aspek ketepatan sasaran, ketetapan tujuan, dan ketetapan biaya. Meskipun bantuan sosial sudah

diberikan, jika salah sasaran maka tujuan pemerintah untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat miskin tidak akan terlaksana karena tidak ada perubahan signifikan pada kesejahteraannya. Masalah yang serupa terjadi di Desa Kedungjati, Kecamatan Bukateja, Kabupaten Purbalingga yang kurang tepat dalam memilih penerima bantuan sosial. Oleh karena itu, pengelompokan keluarga calon penerima manfaat PKH berdasarkan kriteria dan sub-kriteria tertentu melalui metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP).

Berdasarkan permasalahan tersebut, terdapat beberapa penelitian terdahulu yang relevan dan memiliki perbedaan pada penelitian ini. Penelitian N. Kusumawardhany (2020) membahas penentuan penerima bantuan sosial Covid-19 di Kelurahan Paninggilan Utara. Menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) untuk pembobotan setiap kriteria dan *Simple Additive Weighting* (SAW) untuk perankingannya. Menggunakan 5 kriteria, yaitu status pekerjaan kepala keluarga, status pekerjaan istri, status rumah, jumlah tanggungan, dan KTP. Penelitian A.A. Sidiq dan F.W. Christianto (2020) membahas penerapan bantuan sosial PKH. Penelitian ini menggunakan lokasi studi kasus yang berbeda, yaitu PKH di Kelurahan Karanganyar Gunung Kecamatan Candisari Kota Semarang. Memiliki perbedaan yaitu penelitian ini menggunakan metode *Naive Bayes* dalam menentukan PKH berlabel WORTH dan NOT WORTH dengan 6 kriteria, yaitu status rumah, pekerjaan, jumlah tanggungan, bahan bakar untuk memasak, sumber air, dan daya listrik. Penelitian U. Habibah dan M. Rosyda (2022) membahas penetapan calon penerima Bantuan Langsung Tunai Dana Desa (BLT-DD) untuk membantu masyarakat kurang mampu yang terdampak Covid-19 di Kabupaten Banjarnegara. Metode yang digunakan adalah *Analytical Hierarchy Process - Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (AHP-TOPSIS) yang menggunakan 3 kriteria, yaitu non-PKH atau non-pra-kerja, kehilangan pekerjaan/kekurangan cadangan keuangan yang cukup untuk tiga bulan ke depan, serta memiliki anggota keluarga yang menderita sakit menahun dan atau kronis. Berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya, terdapat *gap* dalam hal penggunaan kriteria yang lebih komprehensif dan metode pengambilan keputusan yang lebih terintegrasi dalam menentukan penerima bantuan sosial. Penelitian ini akan *mengisi research gap* tersebut dengan menerapkan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) untuk membobotkan lima kriteria dan sub-kriteria yang lebih rinci, seperti pendapatan, kepala rumah tangga, kepemilikan fasilitas, kondisi tempat tinggal, dan kualitas pangan, dalam konteks Kabupaten Purbalingga. Dengan pendekatan ini, penelitian saya bertujuan untuk meningkatkan akurasi penentuan penerima bantuan sosial dengan mempertimbangkan aspek-aspek yang lebih holistik dan relevan, sehingga dapat memberikan rekomendasi yang lebih tepat sasaran dan efektif dalam pengalokasian bantuan sosial.

2. Metode

Penelitian ini menggunakan metode AHP (*Analytical Hierarchy Process*). *Analytical Hierarchy Process* merupakan metode pengambilan keputusan komprehensif dengan mempertimbangkan aspek kualitatif dan kuantitatif. AHP digunakan untuk membuat prioritas diantara alternatif multikriteria yang ada (Pratiwi, 2020). Berikut merupakan tahapan metode AHP:

2.1 Pengumpulan Data

Penelitian ini mengumpulkan data studi literatur dari buku, jurnal, *proceeding* yang berkaitan dengan topik pembahasan. Selain itu, terdapat wawancara dan kuesioner bersama pihak yang menangani langsung pendistribusian bantuan sosial PKH, yaitu ketua RT.

2.2 Penentuan Kriteria dan Sub-kriteria

Untuk menentukan penerima bantuan sosial PKH dengan AHP digunakan beberapa kriteria. Beberapa kriteria tersebut memiliki sub-kriteria yang digunakan sebagai klasifikasi lebih detail. Kriteria dan sub-kriteria yang digunakan antara lain pendapatan, kepala rumah tangga (sub-kriteria usia, status pekerjaan, dan pendidikan), kepemilikan fasilitas (sub-kriteria layanan kesehatan, layanan pendidikan, akses teknologi informasi dan komunikasi), kondisi tempat tinggal (sub-kriteria dinding, luas, lantai), kualitas pangan.

2.3 Perhitungan AHP

Perhitungan AHP dilakukan dengan membuat matriks perbandingan berpasangan, menghitung *priority weight*, menghitung perbandingan berpasangan untuk alternatif, dan perhitungan *alternative weight evaluation* untuk menghasilkan urutan prioritas. Pada perhitungan AHP menggunakan rumus berikut:

$$CI = \frac{(\lambda_{maks} - n)}{(n - 1)} \quad (1)$$

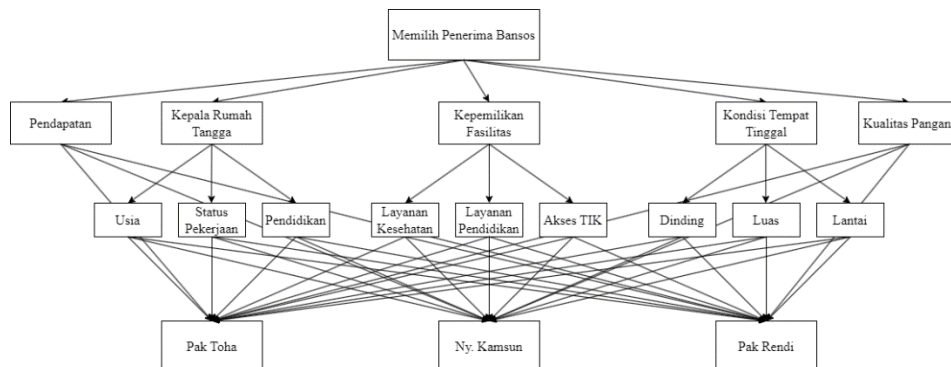
2.4 Hasil Penelitian

Hasil perhitungan pengambilan keputusan menggunakan AHP kemudian dianalisis untuk mengidentifikasi calon penerima bantuan sosial PKH yang paling sesuai berdasarkan kriteria dan sub-kriteria yang ada. Dengan demikian, alokasi sumber daya dapat dilakukan secara efisien dan efektif sehingga kesejahteraan masyarakat meningkat.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pemodelan Struktur Hierarki

Berdasarkan kriteria dan sub-kriteria pemilihan calon penerima bantuan sosial PKH, dihasilkan struktur hierarki sebagai berikut:



Gambar 1. Struktur Hierarki

Pada struktur hierarki di atas, terdapat tiga alternatif calon penerima bantuan sosial PKH yaitu Pak Toha, Ny. Kamsun, dan Pak Rendi.

3.2 Perbandingan Berpasangan

Berikut merupakan kuesioner *pairwise comparison* yang telah diisi oleh *expert* dalam penelitian ini, yaitu ketua RT dalam menentukan skala kepentingan dari tiap kriteria dan sub-kriteria, didapatkan beberapa perbandingan berpasangan sebagai berikut:

Tabel 1. Matriks Perbandingan Berpasangan

Perbandingan Berpasangan						Dalam Desimal				
Kriteria	P	KRT	KF	KTT	KP	Pendapatan	KRT	KF	KTT	KP
Pendapatan	1	3	5	3	7	1	3	5	3	7
KRT	1/3	1	4	2	6	0,3333	1	4	2	6
KF	1/5	1/4	1	1/5	4	0,2	0,25	1	0,2	4
KTT	1/3	1/2	5	1	7	0,3333	0,5	5	1	7
KP	1/7	1/6	1/4	1/7	1	0,1428	0,167	0,25	0,142	1
Jumlah						2,0095	4,917	15,2	6,34	

Selanjutnya, dilakukan pembobotan dan uji konsistensi tiap kriteria. Berikut tabel pembobotan dan uji konsistensi dari matriks perbandingan berpasangan kriteria pendapatan:

Tabel 2. Matriks Rata-Rata Perbandingan Berpasangan

Kriteria	Pendapatan	KRT	KF	KTT	KP	Jumlah	Rata-rata
Pendapatan	0,4976	0,6102	0,3279	0,4730	0,2800	2,1886	0,4377
KRT	0,1659	0,2034	0,2623	0,3153	0,2400	1,1869	0,2374
KF	0,0995	0,0508	0,0656	0,0315	0,1600	0,4075	0,0815
KTT	0,1659	0,1017	0,3279	0,1577	0,2800	1,0331	0,2066
KP	0,0711	0,0339	0,0164	0,0225	0,0400	0,1839	0,0368

Perhitungan rata-rata (pembobotan prioritas) dilakukan dengan membagi nilai pada setiap sel dengan angka pada setiap kolom yang bersesuaian dan menghitung nilai CR. Berdasarkan hasil perhitungan *Consistency Ratio* (CR) dari masing-masing kriteria, yaitu sebesar 0,0878. Nilai CR yang didapat kurang dari 0,1 artinya pembobotan sudah benar dan konsisten sehingga perhitungan dapat dilanjutkan. Kemudian, berikut tabel matriks perbandingan berpasangan antar sub-kriteria pada kepala rumah tangga, yaitu usia, status pekerjaan, dan pendidikan:

Tabel 3. Matriks Perbandingan Berpasangan antar Sub-kriteria

Perbandingan Berpasangan				Dalam Desimal		
Sub-kriteria	Usia	Status Pekerjaan	Pendidikan	Usia	Status Pekerjaan	Pendidikan
Usia	1	1/5	3	1	1/5	3
Status Pekerjaan	5	1	6	5	1	6
Pendidikan	1/3	1/6	1	0,3333	0,167	1

Selanjutnya, dilakukan pembobotan dan uji konsistensi sub-kriteria usia, status pekerjaan, dan pendidikan. Berikut tabel pembobotan dan uji konsistensi dari matriks perbandingan berpasangan tiap sub-kriteria:

Tabel 4. Matriks Rata-Rata Perbandingan Berpasangan antar Sub-kriteria

KRT	Usia	Status Pekerjaan	Pendidikan	Jumlah	Rata-rata
Usia	0,1579	0,1463	0,3000	0,6042	0,2014
Status Pekerjaan	0,7895	0,7317	0,6000	2,1212	0,7071
Pendidikan	0,0526	0,1220	0,1000	0,2746	0,0915

Perhitungan rata-rata (pembobotan prioritas) dilakukan dengan membagi nilai pada setiap sel dengan angka pada setiap kolom yang bersesuaian dan menghitung nilai CR. Berdasarkan hasil perhitungan *Consistency Ratio* (CR) dari sub-kriteria

usia, status pekerjaan, dan pendidikan, yaitu sebesar 0,0826. Nilai CR yang didapat kurang dari 0,1 artinya pembobotan sudah benar dan konsisten sehingga perhitungan dapat dilanjutkan. Kemudian, Berikut tabel matriks perbandingan berpasangan antar sub-kriteria pada kepemilikan fasilitas, yaitu layanan kesehatan, layanan pendidikan, dan akses TIK:

Tabel 5. Matriks Perbandingan Berpasangan antar Sub-kriteria

Perbandingan Berpasangan				Dalam Desimal		
Sub-kriteria	LK	LP	Akses TIK	LK	LP	Akses TIK
LK	1	1/5	3	1	0,2	3
LP	5	1	7	5	1	7
Akses TIK	1/3	1/7	1	0,3333	0,1428	1

Selanjutnya, dilakukan pembobotan dan uji konsistensi sub-kriteria layanan kesehatan, layanan pendidikan, dan akses TIK. Berikut tabel pembobotan dan uji konsistensi dari matriks perbandingan berpasangan tiap sub-kriteria:

Tabel 6. Matriks Rata-rata Perbandingan Berpasangan antar Sub-kriteria

KRT	Layanan Kesehatan	Layanan Pendidikan	Akses TIK	Jumlah	Rata-rata
Layanan Kesehatan	0,1579	0,1489	0,2727	0,5796	0,1932
Layanan Pendidikan	0,7895	0,7447	0,6364	2,1705	0,7235
Akses TIK	0,0526	0,1064	0,0909	0,2499	0,0833

Perhitungan rata-rata (pembobotan prioritas) dilakukan dengan membagi nilai pada setiap sel dengan angka pada setiap kolom yang bersesuaian dan menghitung nilai CR. Berdasarkan hasil perhitungan *Consistency Ratio* (CR) dari sub-kriteria layanan kesehatan, layanan pendidikan, dan akses TIK, yaitu sebesar 0,0567. Nilai CR yang didapat kurang dari 0,1 artinya pembobotan sudah benar dan konsisten sehingga perhitungan dapat dilanjutkan. Kemudian, berikut tabel matriks perbandingan berpasangan antar sub-kriteria pada kondisi tempat tinggal, yaitu dinding, luas, dan lantai:

Tabel 7. Matriks Perbandingan Berpasangan antar Sub-kriteria

Perbandingan Berpasangan				Dalam Desimal		
Sub-kriteria	Dinding	Luas	Lantai	Dinding	Luas	Lantai
Dinding	1	1/3	5	1	0,3333	5
Luas	3	1	6	3	1	6
Lantai	1/5	1/6	1	0,2	0,167	1

Selanjutnya, dilakukan pembobotan dan uji konsistensi sub-kriteria dinding, luas, lantai. Berikut tabel pembobotan dan uji konsistensi dari matriks perbandingan berpasangan tiap sub-kriteria:

Tabel 8. Pembobotan dan Uji Konsistensi antar Sub-kriteria

KRT	Dinding	Luas	Lantai	Jumlah	Rata-rata
Dinding	0,2381	0,2222	0,4167	0,8770	0,2923
Luas	0,7143	0,6667	0,5000	1,8810	0,6270
Lantai	0,0476	0,1111	0,0833	0,2421	0,0807

Perhitungan rata-rata (pembobotan prioritas) dilakukan dengan membagi nilai pada setiap sel dengan angka pada setiap kolom yang bersesuaian dan menghitung nilai CR.

Berdasarkan hasil perhitungan *Consistency Ratio* (CR) dari sub-kriteria dinding, luas, lantai, yaitu sebesar 0,0821. Nilai CR yang didapat kurang dari 0,1 artinya pembobotan sudah benar dan konsisten sehingga perhitungan dapat dilanjutkan.

3.3 Perhitungan Uji Konsistensi

Berikut merupakan beberapa analisis uji konsistensi alternatif. Didapatkan *Consistency Ratio* (CR) dari beberapa alternatif yang dipertimbangkan dengan pendapatan, berikut tabel pembobotan:

Tabel 9. Pembobotan Alternatif Kriteria

Pendapatan	Pak Toha	Ny. Kamsun	Pak Rendi	<i>P. Weight</i>	CR
Pak Toha	1	0,2	0,3333	0,1038	0,0750
Ny. Kamsun	5	1	4	0,6651	
Pak Rendi	3	0,25	1	0,2311	

Berdasarkan hasil *Consistency Ratio* (CR) dari beberapa alternatif yang dipertimbangkan dengan pendapatan, yaitu sebesar 0,0750. Nilai CR yang didapat kurang dari 0,1 sehingga perhitungan dapat dilanjutkan.

Pada kriteria kualitas pangan didapatkan *Consistency Ratio* (CR) dari beberapa alternatif yang dipertimbangkan dengan kualitas pangan, berikut tabel pembobotan:

Tabel 10. Pembobotan Alternatif Kriteria

Kualitas Pangan	Pak Toha	Ny. Kamsun	Pak Rendi	<i>P. Weight</i>	CR
Pak Toha	1	0,1428	0,2	0,0738	0,0565
Ny. Kamsun	7	1	3	0,6434	
Pak Rendi	5	0,3333	1	0,2828	

Berdasarkan hasil *Consistency Ratio* (CR) dari beberapa alternatif yang dipertimbangkan dengan kualitas pangan, yaitu sebesar 0,0565. Nilai CR yang didapat kurang dari 0,1 sehingga perhitungan dapat dilanjutkan.

Pada alternatif sub-kriteria usia, didapatkan *Consistency Ratio* (CR) dari beberapa alternatif yang dipertimbangkan dengan usia, berikut tabel pembobotan:

Tabel 11. Pembobotan Alternatif Sub-kriteria

Usia	Pak Toha	Ny. Kamsun	Pak Rendi	<i>P. Weight</i>	CR
Pak Toha	1	0,1111	0,3333	0,0675	0,0960
Ny. Kamsun	9	1	8	0,7861	
Pak Rendi	3	0,125	1	0,1463	

Berdasarkan hasil *Consistency Ratio* (CR) dari beberapa alternatif yang dipertimbangkan dengan usia, yaitu 0,0960. Nilai CR yang didapat kurang dari 0,1 sehingga perhitungan dapat dilanjutkan. Pada status pekerjaan, didapatkan *Consistency Ratio* (CR) dari beberapa alternatif yang dipertimbangkan dengan status pekerjaan, berikut tabel pembobotan:

Tabel 12. Pembobotan Alternatif Sub-kriteria

Status Pekerjaan	Pak Toha	Ny. Kamsun	Pak Rendi	<i>P. Weight</i>	CR
Pak Toha	1	0,125	0,2	0,0669	0,0824
Ny. Kamsun	8	1	4	0,6893	
Pak Rendi	5	0,25	1	0,2438	

Berdasarkan hasil *Consistency Ratio* (CR) dari beberapa alternatif yang dipertimbangkan dengan status pekerjaan, yaitu 0,0824. Nilai CR yang didapat kurang dari 0,1 sehingga perhitungan dapat dilanjutkan. Pada pendidikan, didapatkan *Consistency Ratio* (CR) dari beberapa alternatif yang dipertimbangkan dengan pendidikan, berikut tabel pembobotan:

Tabel 13. Pembobotan Alternatif Sub-kriteria

Pendidikan	Pak Toha	Ny. Kamsun	Pak Rendi	<i>P. Weight</i>	CR
Pak Toha	1	0,125	0,5	0,0828	0,0304
Ny. Kamsun	8	1	7	0,7798	
Pak Rendi	2	0,1428	1	0,1374	

Berdasarkan hasil *Consistency Ratio* (CR) dari beberapa alternatif yang dipertimbangkan dengan pendidikan, yaitu 0,0304. Nilai CR yang didapat kurang dari 0,1 sehingga perhitungan dapat dilanjutkan.

Pada kriteria kepemilikan fasilitas sub-kriteria layanan kesehatan, didapatkan *Consistency Ratio* (CR) dari beberapa alternatif yang dipertimbangkan, berikut tabel pembobotan:

Tabel 14. Pembobotan Alternatif Sub-kriteria

Layanan Kesehatan	Pak Toha	Ny. Kamsun	Pak Rendi	<i>P. Weight</i>	CR
Pak Toha	1	5	3	0,6194	0,0747
Ny. Kamsun	0,2	1	0,25	0,0964	
Pak Rendi	0,3333	4	1	0,2842	

Berdasarkan hasil *Consistency Ratio* (CR) dari beberapa alternatif yang dipertimbangkan dengan layanan kesehatan, yaitu 0,0747. Nilai CR yang didapat kurang dari 0,1 sehingga perhitungan dapat dilanjutkan. Pada sub-kriteria layanan pendidikan, didapatkan *Consistency Ratio* (CR) dari beberapa alternatif yang dipertimbangkan dengan layanan pendidikan, berikut tabel pembobotan:

Tabel 15. Pembobotan Alternatif Sub-kriteria

Layanan Pendidikan	Pak Toha	Ny. Kamsun	Pak Rendi	<i>P. Weight</i>	CR
Pak Toha	1	5	0,3333	0,2923	0,0821
Ny. Kamsun	0,2	1	0,1667	0,0807	
Pak Rendi	3	6	1	0,6270	

Berdasarkan hasil *Consistency Ratio* (CR) dari beberapa alternatif yang dipertimbangkan dengan layanan pendidikan, yaitu 0,0821. Nilai CR yang didapat kurang dari 0,1 sehingga perhitungan dapat dilanjutkan. Pada akses TIK, didapatkan *Consistency Ratio* (CR) dari beberapa alternatif yang dipertimbangkan dengan akses TIK, berikut tabel pembobotan:

Tabel 16. Pembobotan Alternatif Sub-kriteria

Akses TIK	Pak Toha	Ny. Kamsun	Pak Rendi	<i>P. Weight</i>	CR
Pak Toha	1	0,1111	0,3333	0,0685	0,0708
Ny. Kamsun	9	1	7	0,7766	
Pak Rendi	2	0,1428	1	0,1549	

Berdasarkan hasil *Consistency Ratio* (CR) dari beberapa alternatif yang dipertimbangkan dengan akses TIK, yaitu 0,0708. Nilai CR yang didapat kurang dari 0,1 sehingga perhitungan dapat dilanjutkan.

Pada kriteria sub-kriteria dinding, didapatkan *Consistency Ratio* (CR) dari beberapa alternatif yang dipertimbangkan dengan dinding, berikut tabel pembobotan:

Tabel 17. Pembobotan Alternatif Sub-kriteria

Dinding	Pak Toha	Ny. Kamsun	Pak Rendi	P. Weight	CR
Pak Toha	1	0,1428	0,3333	0,0853	0,0281
Ny. Kamsun	7	1	4	0,7014	
Pak Rendi	3	0,25	1	0,2132	

Berdasarkan hasil *Consistency Ratio* (CR) dari beberapa alternatif yang dipertimbangkan dengan dinding, yaitu 0,0281. Nilai CR yang didapat kurang dari 0,1 sehingga perhitungan dapat dilanjutkan. Pada sub-kriteria luas, didapatkan *Consistency Ratio* (CR) dari beberapa alternatif yang dipertimbangkan dengan luas, berikut tabel pembobotan:

Tabel 18. Pembobotan Alternatif Sub-kriteria

Luas	Pak Toha	Ny. Kamsun	Pak Rendi	P. Weight	CR
Pak Toha	1	0,1428	0,2	0,0738	0,0565
Ny. Kamsun	7	1	3	0,6434	
Pak Rendi	5	0,3333	1	0,2828	

Berdasarkan hasil *Consistency Ratio* (CR) dari beberapa alternatif yang dipertimbangkan dengan luas, yaitu 0,0565. Nilai CR yang didapat kurang dari 0,1 sehingga perhitungan dapat dilanjutkan. Pada sub-kriteria lantai, didapatkan *Consistency Ratio* (CR) dari beberapa alternatif yang dipertimbangkan dengan lantai, berikut tabel pembobotan:

Tabel 19. Pembobotan Alternatif Sub-kriteria

Lantai	Pak Toha	Ny. Kamsun	Pak Rendi	P. Weight	CR
Pak Toha	1	0,1428	0,3333	0,0833	0,0567
Ny. Kamsun	7	1	3	0,7235	
Pak Rendi	3	0,2	1	0,1932	

Berdasarkan hasil *Consistency Ratio* (CR) dari beberapa alternatif yang dipertimbangkan dengan lantai, yaitu 0,0567. Nilai CR yang didapat kurang dari 0,1 sehingga perhitungan dapat dilanjutkan.

3.4 Analisis Hasil Pembobotan

Berikut merupakan tabel *alternative weight evaluation*:

Tabel 20. Alternative Weight Evaluation

	Attribute											Alt. Weight Evaluation
	Pendapatan	Kepala Rumah Tangga			Kepemilikan Fasilitas			Kondisi Tempat Tinggal			Kualitas Pangan	
	0,437 72833	0,237375401			0,081495765			0,206619641			0,0 367 8	
Attribute weight	Usia	Status Pekerjaan	Pendidikan	Layanan Kesehatan	Layanan Pendidikan	Akses TIK	Dinding	Luas	Lantai			
	0,201 41206 7	0,707 06033 4	0,091 52759 9	0,193 18606	0,723 50605 7	0,083 30788 3	0,292 32804 2	0,626 98412 7	0,080 68783 1			
Alternatif												
Pak Toha	0,103 84738 2	0,067 50833 4	0,066 93306 7	0,082 77472 3	0,619 35208 9	0,292 32804 2	0,068 51022 4	0,085 32439 8	0,073 77210 6	0,083 30788 3	0,0 737 7	0,108
Ny. Kamsun	0,665 07024 3	0,786 14643 8	0,689 31068 9	0,779 84484 4	0,096 41943 7	0,080 68783 1	0,776 59201 6	0,701 43745 1	0,643 38886 9	0,723 50605 7	0,6 433 9	0,634
Pak Rendi	0,231 08237 5	0,146 34522 8	0,243 75624 4	0,137 38043 2	0,284 22847 4	0,626 98412 7	0,154 89776	0,213 23815 1	0,282 83902 5	0,193 18606	0,2 828 4	0,258

Pada hasil perhitungan di atas, dapat dianalisis bahwa berdasarkan kriteria pendapatan, kepala rumah tangga, kepemilikan fasilitas, kondisi tempat tinggal, dan kualitas pangan, maka urutan prioritas penerima bantuan sosial PKH adalah Ny. Kamsun dengan nilai *alternative weight evaluation* sebesar 0,634, Pak Rendi dengan nilai 0,258, dan Pak Toha dengan nilai 0,108. Berdasarkan urutan prioritas tersebut, Ny. Kamsun merupakan prioritas pertama penerima bantuan sosial PKH.

4. Simpulan

Berdasarkan analisis hasil data, dapat disimpulkan bahwa Ny. Kamsun merupakan prioritas pertama penerima bantuan sosial PKH di RT 01/RW 10 Desa Kedungjati, Kecamatan Bukateja, Kabupaten Purbalingga dengan nilai *alternative weight evaluation* sebesar 0,634. Penggunaan AHP sebagai solusi permasalahan ini dapat membuat pengambilan keputusan dari permasalahan yang sangat kompleks menjadi lebih mudah dipahami dengan catatan pembobotan yang dilakukan oleh *expert* harus tepat. Penelitian mengenai pemilihan calon penerima Bansos ini masih terbatas pada beberapa kriteria saja, penelitian selanjutnya dapat dikembangkan lebih luas kriteria dan sub-kriteria. Rekomendasi kepada warga RT 01/RW 10 Desa Kedungjati, Kecamatan Bukateja, Kabupaten Purbalingga, sebelum mengajukan diri sebagai penerima bantuan sosial, analisis terlebih dahulu kriteria dan persyaratan yang menjadi penentu dalam pemilihan penerima bantuan sosial agar mempermudah proses penyeleksian pihak yang berwenang mengambil keputusan. Pastikan ketika Anda melakukan pengambilan data berbasis kuesioner *pairwise comparison* yang dibagikan kepada *expert*, peneliti menjelaskan secara detail ketentuan mengisi dan skala perbandingannya karena akan sangat berpengaruh pada uji konsistensi perhitungan AHP.

Daftar Pustaka

- Arifin, J. (2020). *BUDAYA KEMISKINAN DALAM PENANGGULANGAN KEMISKINAN DI INDONESIA CULTURE OF POVERTY IN POVERTY REDUCTION IN INDONESIA* (Vol. 6, Issue 02). Kesejahteraan Sosial.
- Habibah, U., & Rosyda, M. (2022). Sistem Pendukung Keputusan Penerima Bantuan Langsung Tunai Dana Desa di Pekandangan Menggunakan Metode AHP-TOPSIS. *JURNAL MEDIA INFORMATIKA BUDIDARMA*, 6, 404. <https://doi.org/10.30865/mib.v6i1.3471>
- Kusumawardhany, N. (2020). PENERAPAN METODE ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS (AHP) DAN SIMPLE ADDITIVE WEIGHTING (SAW) UNTUK PENENTUAN PENERIMA BANTUAN SOSIAL PANDEMI COVID-19. *IDEALIS: InDonEsiA Journal Information System*, 3, 615–619. <https://doi.org/10.36080/idealism.v3i2.2752>
- Pratiwi, H. (2020). *METODE ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS* Oleh Heny Pratiwi. <https://www.researchgate.net/publication/341767794>
- Sidiq, A. A., & Christanto, F. W. (2020). *ALGORITMA NAIVE BAYES UNTUK PENENTUAN PKH (PROGRAM KELUARGA HARAPAN) BERBASIS SISTEM PENDUKUNG KEPUTUSAN (STUDI KASUS: KELURAHAN KARANGANYAR GUNUNG SEMARANG)* (Vol. 14, Issue 1).
- Supriyanto, A., Razaq, J. A., Purwatiningtyas, P., & Ariyanto, A. (2022). Keputusan Pemberian Bantuan Sosial Program Keluarga Harapan Menggunakan Metode AHP dan SAW. *MATRIK: Jurnal Manajemen, Teknik Informatika Dan Rekayasa Komputer*, 21(3), 639–652. <https://doi.org/10.30812/matrik.v21i3.1806>
- Vita Ferezagia, D. (2018). Analisis Tingkat Kemiskinan di Indonesia. In *Jurnal Sosial Humaniora Terapan* (Vol. 1, Issue 1).
- Witra, Y., Umar, I., Erianjoni, dan, Kabupaten Pasaman, P., & Provinsi Sumatera Barat, B. (2020). *DAMPAK NEGATIF PERTUMBUHAN PENDUDUK TERHADAP LINGKUNGAN DAN UPAYA MENGATASINYA*.

Penerapan Metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) Untuk Optimalisasi Pemilihan Kos Putri

Hadi Ramadhan^{*1)}, Atiqoh Fairuz Hamidah²⁾, dan Igoh Satria Futra Pratama³⁾

^{1,2,3,4)}Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia, Jl Kaliurang KM 14.5, Kabupaten Sleman, 55584, Indonesia

Email: 22522298@students.uii.ac.id, 22522123@students.uii.ac.id, 21522350@students.uii.ac.id

ABSTRAK

Pemilihan tempat tinggal yang nyaman dan sesuai kebutuhan merupakan hal penting bagi mahasiswa, terutama mereka yang belajar jauh dari tempat tinggal asal. Studi ini meneliti efektivitas metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) dalam memilih kos putri di sekitar kampus Universitas Islam Indonesia (UII). Penelitian menggunakan data primer dari kuesioner yang diisi oleh responden, dan data sekunder untuk menilai kriteria seperti lokasi, fasilitas, harga sewa, dan keamanan. Hierarki pemilihan kos mencakup fasilitas, harga, lingkungan, keamanan, dan lokasi sebagai kriteria utama, serta sub-kriteria terkait. Alternatif kos yang dibandingkan adalah E2, BT, dan SW. Hasil analisis menunjukkan bahwa SW adalah pilihan terbaik dengan bobot tertinggi sebesar 45%. Temuan ini menunjukkan bahwa metode AHP efektif dalam membantu mahasiswa UII memilih kos yang optimal berdasarkan berbagai kriteria penting.

Kata kunci: AHP, Alternatif, Hierarki, Kos, Kriteria

1. Pendahuluan

Memilih tempat tinggal yang nyaman dan sesuai dengan kebutuhan merupakan hal penting bagi setiap mahasiswa yang melanjutkan pendidikan di perguruan tinggi, terutama bagi mereka yang belajar di kota yang jauh dari tempat tinggal asal (Devinta et al., 2019). Salah satu pilihan yang umum dipertimbangkan oleh mahasiswa adalah tinggal di kos. Di berbagai kota dengan banyak perguruan tinggi, termasuk di sekitar kampus-kampus ternama seperti Universitas Islam Indonesia (UII), terdapat banyak pilihan kos yang beragam.

Namun, permasalahan muncul ketika para mahasiswa dihadapkan pada berbagai pilihan kos yang berbeda-beda. Setiap pilihan kos memiliki karakteristik, fasilitas, dan harga sewa yang berbeda, serta lokasi yang beragam (Fauzian, 2020). Keputusan dalam memilih kos ini menjadi sangat penting, karena akan berdampak pada kenyamanan dan kualitas hidup selama menempuh pendidikan di kota tersebut.

Oleh karena itu, diperlukan suatu pendekatan yang lebih sistematis dan obyektif dalam memilih kos. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan ini adalah metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Metode AHP adalah metode analisis keputusan yang dikembangkan oleh Thomas L. Saaty pada tahun 1970-an dan telah banyak digunakan dalam berbagai bidang (Magdalena, 2012).

Dengan menerapkan metode AHP dalam pemilihan kos di sekitar UII, diharapkan prioritas kriteria dapat ditentukan dengan lebih jelas dan bobot dari masing-masing kriteria dapat diukur berdasarkan preferensi masing-masing individu. Metode ini membantu menghindari ketidakpastian dan ketidakjelasan dalam pengambilan keputusan dan memberikan landasan yang lebih kuat dalam memilih kos yang sesuai dengan kebutuhan, preferensi, dan anggaran mahasiswa sehingga pemilihan kos menjadi lebih optimal. Konteks optimalisasi pada kasus ini adalah sebuah proses untuk mendapatkan hasil yang paling baik dari berbagai kriteria tertentu.

Selain manfaat bagi para mahasiswa, metode AHP juga memberikan keuntungan bagi pemilik kos atau agen *property*. Dengan memahami preferensi dan prioritas mahasiswa dalam memilih kos, pemilik kos dapat mengoptimalkan pelayanan dan fasilitas yang mereka tawarkan,

sehingga meningkatkan daya tarik kos mereka di antara mahasiswa. Selain itu, hasil dari penggunaan metode AHP ini juga dapat menjadi masukan bagi pihak terkait. Dengan mengetahui preferensi dan prioritas mahasiswa dalam memilih kos, pihak terkait dapat mengoptimalkan pengembangan wilayah sehingga memenuhi kebutuhan dan kenyamanan para mahasiswa.

2. Metode

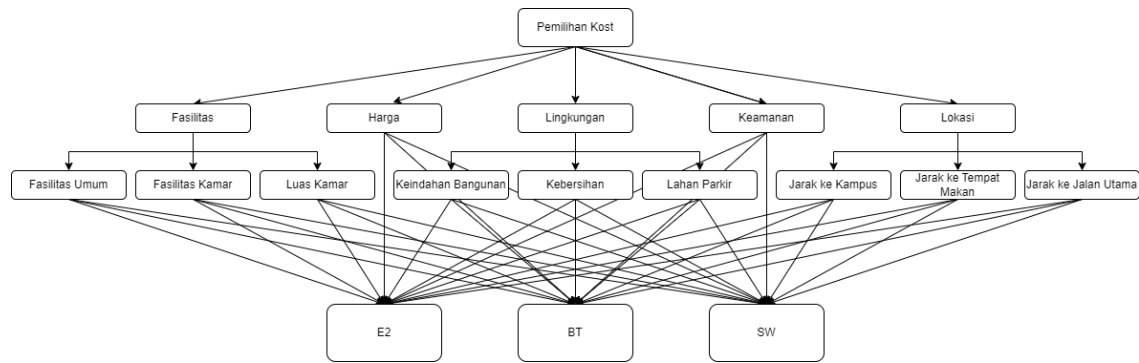
Objek penelitian dalam studi ini adalah proses pemilihan di antara tiga kos putri di sekitar kampus UII terpadu. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk menerapkan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) sebagai alat bantu dalam mengoptimalkan proses pengambilan keputusan pemilihan kos bagi mahasiswi Universitas Islam Indonesia (UII). Metode AHP memecah situasi kompleks dan tidak terstruktur menjadi beberapa komponen yang tersusun dalam hierarki. AHP juga menentukan variabel mana yang paling berpengaruh pada hasil dan memberikan nilai subjektif terhadap pentingnya setiap variabel secara relatif (Saaty, 2012). AHP bergantung pada sebuah hierarki fungsional dengan input utama persepsi manusia. Hierarki ini memecah masalah yang kompleks dan tidak terstruktur menjadi kelompok-kelompok kecil dan kemudian mengaturnya dalam bentuk hierarki (Parhusip, 2019). Dalam mengolah data menggunakan metode AHP, terdapat langkah-langkah yang harus diikuti. Langkah pertama yaitu membangun matriks perbandingan berpasangan, selanjutnya menormalisasi matriks, selanjutnya menghitung bobot, selanjutnya menghitung *eigenvalue*, selanjutnya menghitung *consistency index*, dan selanjutnya menghitung *consistency ratio*.

Metode yang digunakan dalam pengumpulan data dalam penelitian ini adalah metode kuesioner. Kuesioner tersebut telah disusun dengan cermat untuk mengumpulkan informasi dari seorang responden. Tujuan dari pengisian kuesioner ini adalah untuk menentukan prioritas pilihan yang dimiliki oleh responden tersebut dalam konteks tertentu. Kuesioner ini berisi angka-angka yang memuat skala perbandingan antara elemen-elemen yang dibandingkan.

Penelitian ini menggunakan dua jenis data, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer pada penelitian diperoleh melalui kuesioner yang diisi oleh responden. Responden pada penelitian ini melibatkan seorang mahasiswi yang hendak mencari kos untuk dijadikan sebagai tempat tinggal semasa perkuliahan. Kuesioner ini menilai berbagai kriteria penting dalam pemilihan kos, seperti lokasi, fasilitas, harga sewa, dan keamanan. Selain itu, penelitian ini menggunakan juga data sekunder. Melalui kombinasi data primer dan data sekunder, penelitian ini bertujuan untuk memberikan analisis komprehensif dan rekomendasi yang lebih tepat dalam pemilihan kos putri yang optimal bagi mahasiswi UII.

3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan alternatif, kriteria, dan sub-kriteria dalam memilih kos, selanjutnya dapat disajikan hubungan antara kriteria dengan kriteria, kriteria dengan sub-kriteria, sub-kriteria dengan sub-kriteria, alternatif dengan kriteria, dan alternatif dengan sub-kriteria dalam bentuk hierarki seperti pada gambar berikut:



Gambar 1. Hierarki pemilihan kos

Hierarki di atas memuat pemilihan kos sebagai tujuan di *level* pertama. Adapun memuat fasilitas, harga, lingkungan, keamanan, dan lokasi sebagai kriteria. Fasilitas umum, fasilitas kamar, luas kamar, keindahan bangunan, kebersihan, lahan parkir, jarak ke kampus, jarak ke tempat makan, dan jarak ke jalan utama sebagai sub-kriteria. Baik kriteria dan sub-kriteria berada pada *level* kedua. *Level* ketiga memuat alternatif pilihan yaitu E2, BT, dan SW.

Setelah membentuk hierarki, langkah selanjutnya adalah melakukan perbandingan berpasangan. Perbandingan berpasangan digunakan untuk menentukan mana elemen yang paling penting dalam suatu hierarki. Proses ini melibatkan membandingkan setiap elemen dengan elemen lainnya secara berurutan, dan kemudian memberikan nilai perbandingan yang disesuaikan dengan skala yang ditetapkan. Nilai perbandingan ini digunakan untuk membuat matriks perbandingan berpasangan di mana setiap elemen dibandingkan dengan elemen lainnya. Kemudian, berdasarkan perbandingan yang dilakukan, matriks ini digunakan untuk menghitung bobot prioritas setiap elemen (Afatia et al., 2012). Berikut merupakan hasil perbandingan berpasangan yang didapatkan:

a. Perbandingan berpasangan antar kriteria

Tabel 1. Perbandingan Berpasangan Kriteria

Kriteria	Fasilitas	Harga	Lingkungan	Keamanan	Lokasi
Fasilitas	1	9	2	1/3	1/3
Harga	1/9	1	1/3	1/4	1/6
Lingkungan	1/2	3	1	1/2	1/3
Keamanan	3	4	2	1	1/2
Lokasi	3	6	3	2	1

b. Perbandingan berpasangan antar sub kriteria fasilitas

Tabel 2. Perbandingan Berpasangan Sub Kriteria Fasilitas

Sub Kriteria	Fasilitas Umum	Fasilitas Kamar	Luas Kamar
Fasilitas Umum	1	1/6	1/3
Fasilitas Kamar	6	1	5
Luas Kamar	3	1/5	1

c. Perbandingan berpasangan antar sub kriteria lingkungan

Tabel 3. Perbandingan Berpasangan Sub Kriteria Lingkungan

Sub Kriteria	Keindahan Bangunan	Kebersihan	Lahan Parkir
Keindahan Bangunan	1	1/5	1/6

Kebersihan	5	1	1/3
Lahan Parkir	6	3	1

d. Perbandingan berpasangan antar sub kriteria lokasi

Tabel 4. Perbandingan Berpasangan Sub Kriteria Lokasi

Sub Kriteria	Jarak ke Kampus	Jarak ke Tempat Makan	Jarak ke Jalan Utama
Jarak ke Kampus	1	4	6
Jarak ke Tempat Makan	1/4	1	3
Jarak ke Jalan Utama	1/6	1/3	1

Selanjutnya yaitu melakukan uji konsistensi untuk hasil perbandingan tersebut pada setiap kriteria, sub-kriteria, dan alternatif yang dibandingkan. Hasilnya akan dinyatakan konsisten jika nilai *Consistency Ratio* (CR) $\leq 0,1$. Nilai CR didapatkan dengan cara membagi hasil dari CI dengan IR. IR merupakan indeks random yang nilainya sudah memiliki ketetapanannya, sedangkan CI sendiri bisa didapatkan dengan menggunakan rumus berikut:

$$CI = \frac{\lambda \text{ maksimum} - n}{n - 1}$$

Gambar 2. Rumus CI

Berikut merupakan hasil dari uji konsistensi yang telah dilakukan:

a. Uji konsistensi kriteria

Tabel 5. Hasil Uji Konsistensi Kriteria

Kriteria	Fasilitas	Harga	Lingkungan	Kemanan	Lokasi	Total
Fasilitas	0.13	0.01	0.07	0.39	0.39	1.00
Harga	0.39	0.04	0.13	0.17	0.26	1.00
Lingkungan	0.24	0.04	0.12	0.24	0.36	1.00
Keamanan	0.08	0.06	0.12	0.24	0.49	1.00
Lokasi	0.14	0.07	0.14	0.21	0.43	1.00
Total Weight Matrix	0.99	0.23	0.58	1.27	1.93	5.00
Eigenvector	0.20	0.05	0.12	0.25	0.39	1.00
Perkalian Matriks	1.06	0.23	0.61	1.46	2.11	5.47
Eigenvalue	5.36	5.09	5.24	5.75	5.46	26.89
λ maks	5.38					
CI	0.09					
IR	1.12					
CR	0.08					

b. Uji konsistensi sub kriteria fasilitas

Tabel 6. Hasil Uji Konsistensi Sub Kriteria Fasilitas

Sub Kriteria	Fasilitas Umum	Fasilitas Kamar	Luas Kamar	Total
Fasilitas Umum	0.10	0.60	0.30	1.00
Fasilitas Kamar	0.12	0.73	0.15	1.00
Luas Kamar	0.05	0.79	0.16	1.00
Total Weight Matrix	0.27	2.12	0.60	3.00
Eigenvector	0.09	0.71	0.20	1.00

Perkalian Matriks	0.28	2.26	0.62	3.16
<i>Eigenvalue</i>	3.02	3.20	3.07	9.29
λ maks	3.10			
CI	0.05			
IR	0.58			
CR	0.08			

c. Uji konsistensi sub kriteria lingkungan

Tabel 7. Hasil Uji Konsistensi Sub Kriteria Lingkungan

Sub Kriteria	Keindahan Bangunan	Kebersihan	Lahan Parkir	Total
Keindahan Bangunan	0.08	0.42	0.50	1.00
Kebersihan	0.05	0.24	0.71	1.00
Lahan Parkir	0.11	0.22	0.67	1.00
<i>Total Weight Matrix</i>	0.24	0.88	1.88	3.00
<i>Eigenvector</i>	0.08	0.29	0.63	1.00
Perkalian Matriks	0.24	0.90	1.99	3.14
<i>Eigenvalue</i>	3.02	3.10	3.17	9.29
λ maks	3.10			
CI	0.05			
IR	0.58			
CR	0.08			

d. Uji konsistensi sub kriteria lokasi

Tabel 8. Hasil Uji Konsistensi Sub Kriteria Lokasi

Sub Kriteria	Jarak ke Kampus	Jarak ke Tempat Makan	Jarak ke Jalan Utama	Total
Jarak ke Kampus	0.71	0.18	0.12	1.00
Jarak ke Tempat Makan	0.75	0.19	0.06	1.00
Jarak ke Jalan Utama	0.60	0.30	0.10	1.00
<i>Total Weight Matrix</i>	2.06	0.66	0.28	3.00
<i>Eigenvector</i>	0.69	0.22	0.09	1.00
Perkalian Matriks	2.13	0.67	0.28	3.09
<i>Eigenvalue</i>	3.11	3.04	3.01	9.16
λ maks	3.05			
CI	0.03			
IR	0.58			
CR	0.05			

Setelah mendapat nilai yang konsisten selanjutnya adalah melakukan perhitungan terakhir untuk bisa mendapatkan solusi alternatif terbaik. Perhitungan ini dilakukan dengan mengalikan seluruh bobot yang telah didapatkan. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, diperoleh hasil akhir untuk alternatif yang akan dipilih berdasarkan pembobotannya sebagai berikut:

Tabel 9. Hasil Perhitungan

			<i>Attribute weight</i>		E2	BT	SW	
<i>Attribute</i>	Fasilitas	0.20	Fasilitas Umum	0.09				Alternatif
			Fasilitas Kamar	0.71	0.10	0.28	0.62	
			Luas Kamar	0.20	0.11	0.31	0.58	
	Harga	0.05			0.67	0.23	0.10	
	Lingkungan	0.12	Keindahan Bangunan	0.08	0.09	0.27	0.64	
			Kebersihan	0.29	0.13	0.28	0.59	
			Lahan Parkir	0.63	0.24	0.09	0.67	
	Keamanan	0.25			0.24	0.09	0.67	
	Lokasi	0.39	Jarak ke Kampus	0.69	0.74	0.17	0.09	
			Jarak ke Tempat Makan	0.22	0.11	0.31	0.58	
			Jarak ke Jalan Utama	0.09	0.69	0.23	0.08	
	<i>Alt. weight Evaluation</i>					0.36	0.19	

Berdasarkan nilai *alt weight evaluation*, SW merupakan alternatif terpilih dengan nilai tertinggi yaitu sebesar 0.45 atau sekitar 45%. Hal ini menunjukkan bahwa SW adalah alternatif yang paling sesuai berdasarkan pembobotan dan perbandingan berpasangan yang telah dilakukan sebelumnya.

4. Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan mengenai pengambilan keputusan terkait pemilihan kos di sekitar UII, kriteria yang relevan meliputi faktor-faktor seperti harga, lingkungan, fasilitas yang memadai, tingkat keamanan yang terjamin, dan lokasi yang strategis. Sub-kriteria yang diidentifikasi mencakup jarak ke kampus, jarak ke tempat makan, jarak ke jalan utama, ketersediaan fasilitas umum, kualitas fasilitas kamar, ukuran kamar, estetika bangunan, kebersihan, serta ketersediaan lahan parkir. Alternatif solusi yang dipertimbangkan meliputi E2, BT, dan SW. Dari hasil penelitian, analisis menggunakan metode AHP telah dilakukan melalui proses pembobotan, uji konsistensi, dan perhitungan. Hasilnya menunjukkan bobot masing-masing alternatif, di mana SW memiliki bobot tertinggi sekitar 45%, menjadikannya pilihan kos yang paling sesuai berdasarkan pembobotan setiap kriteria dan sub-kriteria yang digunakan.

Daftar Pustaka

- Afatia, N. N., Deliar, A., & Virtriana, R. (2012). Skenario matriks perbandingan berpasangan dalam analisis risiko aliran piroklastik Gunung Api Semeru, Jawa Timur. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, 3(3), 211–227.
- Devinta, M., Hidayah, N., Grendi, D., & Uny, H. (2019). Fenomena Culture Shock (Gegar Budaya) Pada Mahasiswa Perantauan di Yogyakarta.
- Fauzian, F. (2020). Identifikasi Karakteristik Harga Sewa Kos Di Sekitar Kampus ITB Berdasarkan Radius.
- Magdalena, H. (2012). Sistem Pendukung Keputusan Untuk Menentukan Mahasiswa Lulusan Terbaik di Perguruan Tinggi (Studi Kasus STMIK Atma Luhur Pangkalpinang). *Seminar Nasional Teknologi Informasi Dan Komunikasi*.
- Parhusip, J. (2019). Penerapan Metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) Pada Desain Sistem Pendukung Keputusan Pemilihan Calon Penerima Bantuan Pangan Non Tunai (BPNT) Di Kota Palangka Raya. *Jurnal Teknologi Informasi*, 13(2).

Saaty, T. (2012). *Models, Method Concepts and Application of The Analytic Hierarchy Process*.
Springer.

Konsistensi Produksi Mesin CNC *Milling* 3 Axis Supermill MK2 dengan Metode Hasil Pemotongan untuk Hasil Produksi yang Berkualitas

Fajar Budi Laksono^{*1)}, Pringgo Widyo Laksono²⁾, dan Ubaidillah³⁾

¹⁾ Prodi Program Profesi Insinyur dan Teknik Mesin Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir Sutami 36 A, Surakarta 57126, Indonesia

²⁾ Prodi Program Profesi Insinyur dan Teknik Industri Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir Sutami 36 A, Surakarta 57126, Indonesia

³⁾ Prodi Program Profesi Insinyur dan Teknik Industri Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir Sutami 36 A, Surakarta 57126, Indonesia

Email: fajarbudilaksono12@gmail.com, pringgo@ft.uns.ac.id, ubaidillah_ft@staff.uns.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi ketepatan dan akurasi mesin CNC *Milling* 3 Axis Supermill MK2 yang diproduksi oleh PT DTECH INOVASI INDONESIA. Metode yang digunakan melibatkan pengukuran deviasi dimensi dari komponen yang diproduksi oleh 10 mesin dari *batch* produksi berbeda. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan *caliper* digital presisi tinggi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mesin CNC Supermill MK2 mampu menghasilkan komponen dengan deviasi dimensi yang sangat kecil, sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Analisis lebih lanjut terhadap dimensi, kualitas *surface finish*, tingkat siku, dan *run-out endmill* menunjukkan konsistensi produksi yang tinggi di antara mesin-mesin tersebut. Kesimpulannya, mesin CNC Supermill MK2 terbukti memiliki ketelitian dan konsistensi yang tinggi dalam produksi komponen, menjadikannya alat yang andal untuk produksi massal. Hal ini diharapkan dapat meningkatkan indeks kemampuan inovasi dan daya saing industri di Indonesia, terutama bagi institusi pendidikan, UKM, dan *start-up*.

Kata kunci: CNC Milling, deviasi dimensi, ketepatan, konsistensi produksi, Supermill MK2, *surface finish*, validasi produksi

1. Pendahuluan

Banyak perusahaan dan institusi di dunia mempercepat perkembangan mereka dengan adanya revolusi industri 4.0 untuk meningkatkan daya saingnya (Mourtzis et al. 2015). Sebagian besar perusahaan menggunakan perangkat otomatisasi, *big data*, Internet of Things (IoT), dan kecerdasan buatan sebagai alat untuk meningkatkan kreativitas dan inovasi, memprediksi permintaan, menyarankan keputusan yang tepat, sistem peringatan dini, dll. (Mourtzis, Doukas & Bernidaki 2014). Salah satunya adalah penggunaan perangkat otomasi bernama CNC (Caro 2015). CNC (Computer Numerical Control) dapat mendongkrak daya saing inovasi dari suatu bangsa. Berdasarkan data dari Gardner.inc pada tahun 2014, permintaan mesin manufaktur terbesar di dunia termasuk CNC saat ini berasal dari Negara yang menjadi pusat inovasi dunia yaitu China 46 %, USA 11%, Jerman 10%, Korea 6%, dan Jepang 6% dengan total nilai hingga 71 Milyar USD (Tao & Zhang 2017).

Di sisi lain, Indonesia masih memiliki indeks kemampuan inovasi yang rendah dan masih memiliki ketergantungan terhadap teknologi luar negeri yang tinggi. Indeks kemampuan inovasi telah menjadi pilar dengan skor terendah di antara pilar lainnya (37.1 / 100) menurut World Economic Forum tahun 2018 (Schwab 2018). Indonesia berada di peringkat 68 dari 140 menurut indeks kemampuan inovasi sementara Filipina berada di peringkat 67, Thailand peringkat 51, Malaysia peringkat 30 dan Singapura peringkat 14 (Schwab 2018). Kurangnya indeks kemampuan inovasi memberi dampak besar bagi Indonesia. Salah satunya adalah nilai ekspor teknologi canggih Indonesia hanya 5 miliar USD sedangkan Filipina 26,2 miliar USD,

Vietnam 30,9 miliar USD, Thailand 35 miliar USD, Malaysia 57,3 miliar USD, dan Singapura 137,4 miliar USD menurut data Bank Dunia, dirilis pada 2016 (data.worldbank.org, 2016).

Oleh karena itu, untuk peningkatan indeks kemampuan inovasi dan daya saing bangsa, pengembangan mesin CNC milling ekonomis dan revolusioner sangat diperlukan sebagai gerbang bagi industri dan institusi di Indonesia untuk memasuki industri revolusi 4.0. Di Indonesia, perangkat *prototyping* dan *machining* masih relatif mahal, terutama untuk SMK, *start-up*, atau UKM (Ginting, Hadiyoso & Aulia 2017). Salah satu penyebabnya adalah karena sebagian CNC di Indonesia didapatkan melalui impor sehingga nilai TKDN produk ini sangatlah kecil dan memiliki harga mahal (Ginting, Hadiyoso & Aulia 2017). Jika lembaga pendidikan, UKM/*start-up* dan *maker space* memiliki akses untuk mesin CNC, maka akan ada lebih banyak orang yang tertarik untuk mengembangkan produk inovatif yang memberikan dampak besar pada indeks kemampuan inovasi dan peningkatan daya saing bangsa.

Salah satu perusahaan di Salatiga, yaitu PT DTECH INOVASI INDONESIA, telah berhasil membuat mesin CNC milling 3 axis dengan *brand* Supermill MK2. Mesin CNC ini sudah diproduksi dan berhasil memberikan manfaat terhadap produktivitas UMKM serta institusi pendidikan. Akan tetapi, belum ada penelitian yang membuktikan konsistensi produksi dari mesin Supermill MK2 yang dihasilkan oleh PT DTECH INOVASI INDONESIA. Adapun desain dan spesifikasi dari mesin tersebut dapat terlihat pada gambar dan tabel di bawah.



Gambar 1. CNC Milling 3 Axis yang diproduksi

Tabel 1. Spesifikasi Mesin CNC Milling 3 Axis yang telah diproduksi

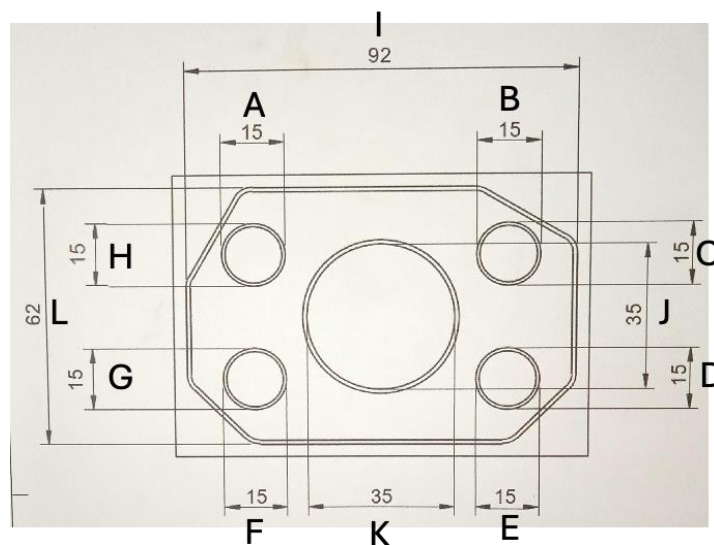
	MK-II TYPE 1	MK-II TYPE 2
Travel		
Travel in X/Y/Z axis	300mm 300mm 300mm	400mm 300mm 300mm
Spindle Nose to Table Max		424mm
Spindle Nose to Table Min		120mm
Table		
Length (Work Area) Width	450mm 300mm	500mm 300mm
T-Slot Width T-Slot Distance		10mm 90mm
Number of T-Slots Max Table Load	3 50kg	3 70kg
Feedrates		
Max Cutting Speed		8m/min
Rapid on X,Y, and Z axis		12.5m/min
Spindle		
Max Rating		1.5KW
Max Speed		6000 (optional 8000) RPM
Taper		BT30
Spindle Motor Cooling		Air Cooled with Integrated Fan ¹
Tool Clamping		Electronically Controlled Pneumatic
Controller		
Controller System		DTECH-AUTOMATION Controller
Screen & UI		10.1" High Resolution Touch Screen
File & G Code Storage		80 GB Dedicated High Speed Storage
MPG Type		Integrated MPG with High Res Encoder
Electrical, Coolant, & Air Requirement		
Input AC Voltage Full load Amps		1 Phase 20 A
Full Load Amps		1 Phase 20 A
Full Load Wattage		4.4 W (4.400 watt) ²
Air Requirement		113 Liter/Min @ 6.9 bar
Air Pressure Min		6 bar
Coolant Capacity		40 Liter (Recirculated)
Coolant Pump		120 Watt High Pressure Pump
Lubrication System		Lubrication System
Light		Activated

Agar proses produksi mesin CNC Supermill MK2 dapat dilakukan dengan maksimal, maka perlu dilakukan uji konsistensi dari hasil pemotongan mesin tersebut. Dalam penelitian kali ini, telah dilakukan validasi hasil melalui hasil pemotongan dari 10 mesin dari *batch* produksi yang berbeda dengan benda kerja tertentu. Hal ini berguna untuk memvalidasi konsistensi metodologi produksi yang digunakan oleh perusahaan. Diharapkan penelitian ini akan dapat memantapkan metodologi produksi yang digunakan oleh perusahaan serta meyakinkan konsumen mengenai ketelitian dan konsistensi produksi dari mesin Supermill MK2.

2. Metode

Untuk mengevaluasi ketepatan dan akurasi mesin CNC Milling 3 Axis Supermill MK2, penelitian ini menggunakan metode pengukuran deviasi dari dimensi yang ditargetkan. Proses ini melibatkan pembuatan sejumlah sampel komponen menggunakan mesin tersebut dan mengukur setiap sampel untuk menentukan sejauh mana hasilnya sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan. Proses pengaturan dan pemotongan dari benda kerja ditunjukkan pada gambar di bawah. Pengukuran ini dilakukan dengan menggunakan alat ukur presisi tinggi seperti caliper digital dengan merk Mitutoyo yang telah dikalibrasi.

Selanjutnya, untuk mengukur kemampuan mesin dari berbagai *batch* produksi dalam menghasilkan komponen yang konsisten secara berulang kali, dilakukan pengujian dengan benda kerja yang dihasilkan dari 10 mesin CNC Supermill MK2. Setiap benda kerja dari berbagai *batch* akan dianalisis untuk melihat konsistensi produksi dari mesin CNC. Untuk mempermudah proses perbandingan pengukuran dari 10 mesin tersebut, maka masing-masing dari dimensi benda kerja akan diberikan simbol huruf seperti pada gambar di bawah.



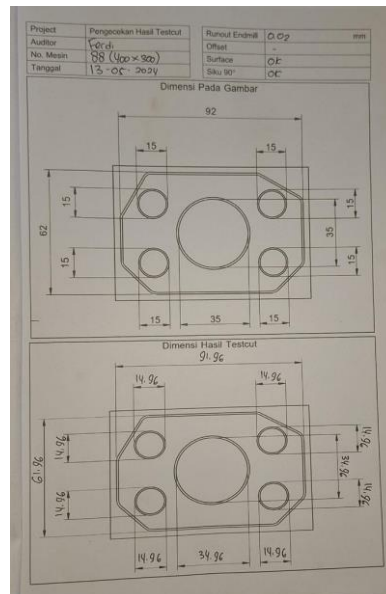
Gambar 2. Gambar Benda Kerja Setelah Diberikan Simbol

Dari benda kerja tersebut, tidak hanya dilakukan pengukuran dimensi, akan tetapi juga dilakukan pengukuran terhadap kualitas *surface finish*, tingkat siku, serta *run-out* dari *endmill*. Untuk hasil *surface finish* dilakukan secara visual di mana hasil yang dapat diterima dapat ditunjukkan seperti gambar di bawah ini.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil pemotongan dari benda kerja selanjutnya dilakukan pengukuran secara nyata dan dituliskan dalam suatu formulir. Formulir yang digunakan untuk pengukuran benda kerja

tersebut ditunjukkan pada gambar di bawah. Dalam formulir tersebut, telah dituliskan secara lengkap dimensi, *surface finish*, siku, hingga *run-out endmill* yang akan menunjukkan ketelitian dari mesin tersebut.



Gambar 3. Contoh Formulir yang Digunakan untuk Mengukur Ketelitian dari Mesin yang Telah Diproduksi

Mesin yang digunakan dalam studi kasus kali ini adalah mesin dengan *batch* produksi nomor 85 hingga 94. Data dari formulir yang ada pada gambar di atas akan dimasukkan ke dalam tabel yang nantinya masing-masing dimensi akan diberi simbol seperti pada gambar 5. Adapun hasil pengukuran dari 10 mesin tersebut dapat ditunjukkan melalui tabel di bawah.

Tabel 2. Hasil Pengukuran dari 10 Mesin CNC Supermill MK2

No	Nomor Mesin	Dimensi Setelah Pengukuran (mm)													Surface	Siku	Runout											
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L															
1	Supermill MK2 85	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	Ok	Ok	0,02	
2	Supermill MK2 86	14.98	14.98	14.98	14.98	14.98	14.98	14.98	14.98	14.98	14.98	14.98	14.98	14.98	14.98	14.98	14.98	14.98	14.98	14.98	14.98	14.98	14.98	14.98	14.98	Ok	Ok	0,01
3	Supermill MK2 87	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	Ok	Ok	0,02
4	Supermill MK2 88	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	Ok	Ok	0,02
5	Supermill MK2 89	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	Ok	Ok	0,02
6	Supermill MK2 90	14.98	14.98	14.98	14.98	14.98	14.98	14.98	14.98	14.98	14.98	14.98	14.98	14.98	14.98	14.98	14.98	14.98	14.98	14.98	14.98	14.98	14.98	14.98	14.98	Ok	Ok	0,01
7	Supermill MK2 91	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	Ok	Ok	0,02
8	Supermill MK2 92	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	Ok	Ok	0,02
9	Supermill MK2 93	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	Ok	Ok	0,02
10	Supermill MK2 94	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	14.96	Ok	Ok	0,02

Dari tabel di atas, dapat dilihat bahwa hasil produksi dari Supermill MK2 yang dilakukan oleh PT DTECH INOVASI INDONESIA sangatlah konsisten. Angka-angka tersebut juga menunjukkan ketelitian dari mesin di mana pada kolom A hingga H memiliki hasil yang sama sehingga dapat disimpulkan bahwa geometri lingkaran yang dihasilkan dari mesin CNC tersebut adalah sempurna. Selain itu, terdapat selisih antar hasil pengukuran nyata dan gambar yang sebetulnya disebabkan adanya *run-out endmill*.

Dapat dilihat pula pada mesin 85, 87, 88, 89, 91, 92, 93 dan 94 terdapat selisih sekitar 0,04 mm dari dimensi gambar. Pada mesin dengan nomor tersebut, nilai *run-out endmill* adalah 0,02 mm sehingga apabila *endmill* tersebut berputar maka akan menghasilkan selisih dari dimensi gambar senilai 0,04 mm seperti yang dihasilkan pada tabel. Begitu juga pada mesin nomor 86 dan 90 yang memiliki selisih 0,02 mm dari dimensi gambar kerja dengan nilai *runout*

endmill 0,01 mm. Dari perhitungan tersebut, dapat dilihat bahwa hasil dari produksi mesin CNC Supermill MK2 sangatlah teliti dan sangat mendekati nilai dari gambar bahkan dapat sama dengan gambar apabila *run-out endmill* dapat diatur dengan nilai 0.

Untuk menganalisis konsistensi hasil produksi mesin CNC Milling 3 Axis Supermill MK2, dilakukan pengukuran terhadap dimensi komponen yang dihasilkan dari 10 mesin yang berasal dari *batch* produksi yang berbeda. Data pengukuran ini digunakan untuk menghitung nilai mean (rata-rata) dan standar deviasi dari setiap dimensi. Standar deviasi merupakan ukuran dispersi yang menunjukkan sejauh mana data pengukuran menyebar dari nilai rata-rata. Untuk data rata-rata dan standar deviasi dari data tabel 2, selanjutnya ditunjukkan pada tabel di bawah.

Tabel 3. Rata-Rata dan Standar Deviasi per Dimensi

Dimensi	Rata-rata (Mean)	Standar Deviasi
A	14.964	0.008433
B	14.964	0.008433
C	14.964	0.008433
D	14.964	0.008433
E	14.964	0.008433
F	14.964	0.008433
G	14.964	0.008433
H	14.964	0.008433
I	91.964	0.008433
J	34.964	0.008433
K	34.964	0.008433
L	61.964	0.008433

Dari hasil di atas, terlihat bahwa rata-rata untuk dimensi A hingga H adalah 14.964 mm, untuk dimensi I adalah 91.964 mm, untuk dimensi J dan K adalah 34.964 mm, dan untuk dimensi L adalah 61.964 mm. Standar deviasi untuk semua dimensi adalah 0.008433, menunjukkan bahwa data untuk setiap dimensi sangat konsisten dan nilai-nilai individu tidak menyimpang jauh dari rata-rata.

4. Simpulan

Berdasarkan evaluasi ketepatan dan akurasi mesin CNC Milling 3 Axis Supermill MK2 yang dilakukan dalam studi kasus ini, dapat disimpulkan bahwa mesin ini menunjukkan kinerja yang sangat memuaskan dalam memproduksi komponen sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Pengukuran deviasi dimensi dari setiap sampel komponen yang diproduksi menunjukkan bahwa hasil pemotongan sangat mendekati dimensi target, dengan deviasi yang sangat kecil dan berada dalam batas toleransi yang dapat diterima.

Proses validasi yang melibatkan pengujian terhadap 10 mesin dari *batch* produksi yang berbeda memperlihatkan konsistensi yang tinggi. Analisis terhadap dimensi, kualitas *surface finish*, tingkat siku, dan *run-out endmill* dari benda kerja menunjukkan bahwa mesin-mesin tersebut mampu menghasilkan komponen dengan kualitas yang seragam. Data pengukuran menunjukkan bahwa hasil produksi dari PT DTECH INOVASI INDONESIA sangat konsisten, dengan geometri lingkaran yang dihasilkan oleh mesin CNC menunjukkan ketelitian yang tinggi. Selisih dimensi yang kecil antara hasil pengukuran nyata dan gambar target sebagian besar disebabkan oleh *run-out endmill*, yang dapat diatur untuk mencapai ketelitian yang lebih tinggi.

Dengan standar deviasi yang sangat kecil (0.008433) untuk setiap dimensi, dapat disimpulkan bahwa variasi data sangat rendah dan konsistensi antara mesin-mesin Supermill

MK2 cukup tinggi. Ini menunjukkan bahwa performa mesin sangat stabil dan dapat diandalkan dalam menghasilkan nilai yang hampir sama untuk setiap pengukuran dimensi yang diberikan.

Daftar Pustaka

- Caro, D. (2016). 1 - Industrial data communications protocols and application layers. In R. Budampati & S. Kolavennu (Eds.), *Industrial Wireless Sensor Networks* (pp. 3–23). Woodhead Publishing. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-230-3.00001-5](https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-230-3.00001-5)
- Ginting, R., Hadiyoso, S. & Aulia, S. (2017). Implementation 3-Axis CNC router for small scale industry. *International Journal of Applied Engineering Research*, Vol. 12, No. 17, pp. 6553–6558.
- Mourtzis, D., Doukas, M. & Bernidaki, D. (2014). Simulation in manufacturing: Review and challenges, *Procedia CIRP*, Vol. 25, No. C, pp. 213–219.
- Mourtzis, D., Papakostas, N., Mavrikios, D., Makris, S. & Alexopoulos, K. (2015). The role of simulation in digital manufacturing: Applications and outlook, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 28, No. 1, pp. 3–24.
- Schwab, K. (2018). *The Global Competitiveness Report 2018*, World Economic Forum Reports 2018.
- Tao, F. & Zhang, M. (2017). Digital twin shop-floor: A new shop-floor paradigm towards Smart manufacturing, *IEEE Access*, Vol. 5, pp. 20418–20427

Perancangan Alat Bantu Drill *Jig* Besi Round Hollow pada Praktikum Perancangan Teknik Industri II dengan Metode NIDA

Luthfi Kumara Jati¹⁾, Mohammad Hanif Putra Susetyo²⁾, Mutiara Anjeli Aldrin³⁾, Resya Falisha⁴⁾, Muhammad Hafizh Fatihurrizqi⁵⁾

¹⁾Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir Sutami 46A, Surakarta, 57126, Indonesia

Email: luthfikumara@student.uns.ac.id, hanifputrasusetyo@student.uns.ac.id,
aldrinmutiara@student.uns.ac.id, falisharesya@student.uns.ac.id,
fatiihoerrizqi1@student.uns.ac.id

ABSTRAK

Dalam pelaksanaan Praktikum Perancangan Teknik Industri II dilakukan proses *drilling* untuk melubangi bagian besi *round hollow* untuk membuat part kaki kursi dan rangka sandaran pada kursi kuliah Praktikum Perancangan Teknik Industri II dengan menggunakan *hand drill*. Kendala yang banyak dialami oleh operator saat melakukan proses *drilling* adalah hasil yang kurang presisi. Dengan itu latar belakang dibuatnya perancangan alat bantu *drilling* ini adalah tidak adanya *jig* yang dapat meningkatkan efisiensi dan kepresisian dalam proses *drilling*. Dengan menggunakan teknik NIDA (*Need, Idea, Decision, Action*), penelitian ini bertujuan untuk membangun alat pemboran yang dapat mempercepat dan mempertepat proses pengeboran rangka sandaran. Hasil penelitian ini menjadi dasar pemilihan salah satu dari tiga pendekatan yang memungkinkan dalam pembuatan *jig drilling* untuk produksi besi *round hollow* pada rangka sandaran sebagai bagian dari tugas laboratorium perencanaan dan desain produk Praktikum Perancangan Rekayasa Industri II. Berdasarkan tabel *benchmarking* kami memilih desain usulan alternatif ke 2 karena dengan memilih desain memiliki kategori yang murah dan mudah untuk diproduksi, fleksibel dalam penggunaan, memiliki ukuran yang *compact*, memiliki durabilitas yang tinggi, memiliki *clamp* untuk kestabilan.

Kata kunci: *drilling jig*, Metode NIDA, pengeboran

1. Pendahuluan

Jig adalah alat penahan atau pendukung yang digunakan dalam produksi. *Jig* digunakan untuk menempatkan dan memosisikan benda kerja dengan aman. Hal ini juga memastikan bahwa semua produk yang dibuat menggunakan *jig* akan menjaga konsistensi dan kepresisian. Proses manufaktur lain yang memerlukan kontrol gerakan alat pemotong, seperti pengerjaan kayu dan pemrosesan logam, juga menggunakan instrumen ini secara ekstensif. Sejumlah *jig* dan *fitting* juga dikenal sebagai alat bantu atau pemandu, sebagaimana dinyatakan oleh Tohidi dan Algeddawy (2015). Operator sering menghadapi tantangan saat mencoba memotong atau mengebor selama proses produksi. Karena itu, presisi pemotongan atau lubang pada bor terganggu. Karena alasan ini, *jig* merupakan alat penting bagi operator untuk digunakan dalam sejumlah operasi operasional.

Dari pengamatan pada Praktikum Perancangan Teknik Industri II terdapat beberapa kendala bagi praktikan. Salah satunya yaitu, pada proses pembuatan lubang pada besi *round hollow* pada part kaki kursi dan rangka sandaran. Pada proses *drilling* untuk part ini menggunakan *hand drill* yang mana hal ini membuat praktikan kesulitan dan membuat lubang yang presisi.

Dari pengamatan yang telah penulis lakukan maka dilakukan perancangan *jig* sebagai alat bantu *drilling* rangka sandaran dan kaki kursi agar lebih cepat dan presisi dengan tujuan mempermudah praktikan selama proses praktikum dalam mencapai lubang yang presisi dengan waktu yang minimal.

2. Metode

Pendekatan NIDA digunakan dalam proses pembuatan bantuan pengeboran ini. NIDA, yang merupakan singkatan dari *need* (kebutuhan), *idea* (ide), *decision* (keputusan), dan *action*

(tindakan), merupakan tahap umum dari metode desain dan nama dari proses desain. (Ulrich, 2003).

Teknik NIDA berupaya mengidentifikasi informasi tentang hal-hal yang dibutuhkan operator untuk mengurangi masalah saat ini sebelum menghasilkan konsep kreatif untuk menciptakan instrumen yang dapat melampaui batasan operator. Setelah alat dirancang, desain lebih lanjut diputuskan dan desain alat diselesaikan.

Pada titik ini, konsep fasilitas kerja dirancang dengan memanfaatkan konsep desain NIDA (Kebutuhan, Ide, Keputusan, dan Tindakan) untuk memberikan rekomendasi perbaikan, menurut Hans Torvatn (2002).

Menemukan persyaratan praktisi terkait instrumen yang digunakan adalah langkah pertama dalam teknik NIDA. Selanjutnya, dilanjutkan dengan memunculkan banyak konsep baru yang memenuhi persyaratan praktisi. Setelah menghasilkan beberapa ide, langkah berikutnya melibatkan pemilihan konsep terbaik dan melanjutkan proses pembuatan alat berdasarkan konsep tersebut.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Tahap Need

Pada tahap ini kami melakukan survei, didapatkan kebutuhan untuk merancang sebuah alat bantu berupa *drill jig* untuk membantu proses *drilling* besi *round hollow* pada proses praktikum. Identifikasi kebutuhan ini melibatkan analisis alat bantu *jig* yang selama ini digunakan dalam produksi kursi kuliah dalam Praktikum Perancangan Teknik Industri II di Laboratorium *Product Planning and Design* untuk menahan benda kerja agar tetap stabil selama pengeboran pada besi *round hollow*.



Gambar 1. Vise Laboratorium *Product Planning and Design*.

Gambar 1 menampilkan *jig* yang telah digunakan oleh Laboratorium *Product Planning and Design* untuk membantu proses *drilling*.

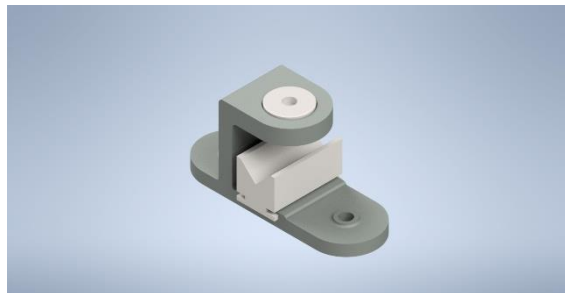


Gambar 2. Hasil *Drilling* Tanpa *Jig*

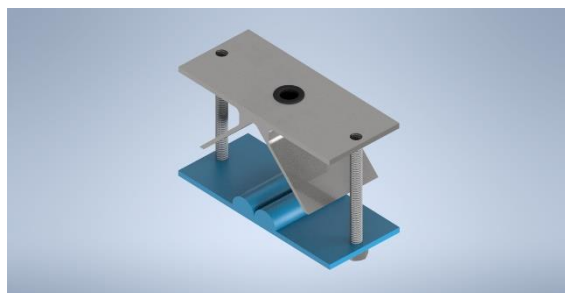
Gambar 2 memperlihatkan hasil dari operasi *drilling* jika tidak menggunakan *jig*. Laboratorium *Product Planning and Design* hanya memiliki *vise* yang berfungsi untuk menjepit benda kerja. *Vise* yang digunakan selama ini memiliki kekurangan, yaitu tidak ada alat untuk membuat lubang secara *center*, yang menyebabkan hasil pengeborannya kurang yang presisi dan akurat karena alat tersebut tidak memiliki bersentuhan langsung dengan mata bor *press drill*, sehingga tidak bisa mengarahkan mata bor dengan tepat. Selain itu, *vise* yang disediakan oleh laboratorium *Product Planning and Design* tidak dilengkapi dengan *template* ukuran yang dapat membantu operator melakukan pengeboran tanpa perlu menentukan titik pengeboran terlebih dahulu menggunakan alat bantu ukur seperti penggaris.

3.2 Tahap *Idea*

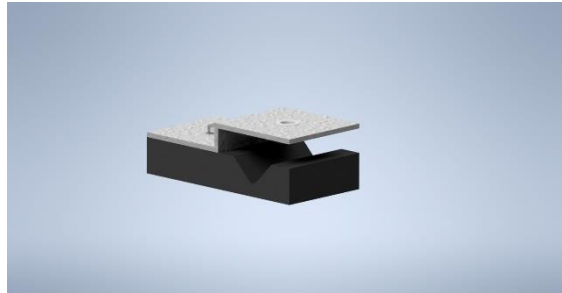
Berdasarkan analisis yang kami lakukan pada tahap *need*, kami mengusulkan 3 desain usulan,



Gambar 3. Desain Usulan 1



Gambar 4. Desain Usulan 2



Gambar 5. Desain Usulan 3

Desain pertama memiliki dua *part*, yaitu bagian bawah sekaligus *opening* untuk mata bor, yang bisa dibaut ke *jig* lainnya agar terkunci dengan baik, part kedua yaitu *sliding rest* untuk besi *round hollow*. Kelebihan dari desain ini yaitu memiliki *bushing* yang membantu mata bor agar tidak cepat rusak. Kekurangan dari desain usulan ini yaitu tidak adanya fitur *clamp*, jadi besi *round hollow* bisa saja tiba-tiba berputar dan operasi *drilling* menjadi suatu *defect*.

Desain kedua memiliki dua part, yaitu atas dan bawah yang dihubungkan dengan baut M4 untuk pengencang. Cara menggunakan *jig* ini yaitu dengan memasukkan *round hollow* ke bagian bawah, dan mengencangkan baut hingga *jig* terkunci di besi *round hollow*. Keunggulan yang dimiliki oleh desain usulan kedua, yaitu bisa digunakan dengan *hand drill* maupun dengan *press drill*. Desain usulan ini juga memiliki *bushing* untuk mata bor, agar tidak

Desain ketiga memiliki dua *part*, yaitu bagian *clamp* atau bagian atas dan bagian *rest* atau bagian bawah. Kelebihan dari desain usulan ketiga ini yaitu bahannya yang *solid* dan tebal, dan karena itu juga desain usulan ketiga ini juga memiliki bobot yang berat, dan tidak memiliki kepresisian tinggi, karena *clamp* yang hanya berada di satu sisi dan bisa jadi tidak stabil dalam penggunaannya.

3.3 Tahap Decision

Berikut merupakan tabel *Benchmarking* untuk memilih alternatif mana yang akan digunakan sebagai hasil yang disarankan

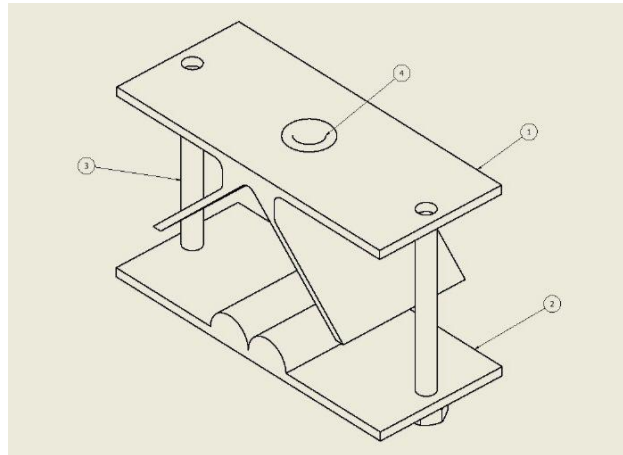
Tabel 1. *Benchmarking*

Metrics	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3
Murah dan mudah untuk diproduksi	Ya	Ya	Ya
<i>User Friendly</i>	Ya	Tidak	Ya
Fleksibel dalam penggunaan	Tidak	Ya	Ya
Kepresisian Tinggi	Ya	Tidak	Tidak
Memiliki ukuran yang <i>compact</i>	Tidak	Ya	Tidak
Memiliki durabilitas yang tinggi	Ya	Ya	Ya
Memiliki <i>clamp</i> untuk kestabilan	Tidak	Ya	Tidak
TOTAL	4	5	4

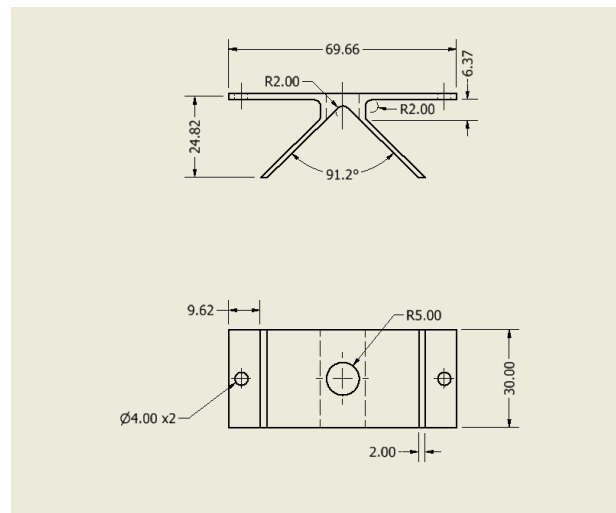
Benchmarking adalah proses mengukur dan menggunakan sesuatu sebagai standar untuk perbandingan dengan hal-hal lainnya. Dengan demikian, *benchmarking* berfungsi sebagai tolak ukur yang dipakai untuk menilai atau membandingkan suatu aspek tertentu. Berdasarkan tabel *Benchmarking* kami memilih desain usulan alternatif ke 2 karena dengan memilih desain memiliki kategori yang murah dan mudah untuk diproduksi, fleksibel dalam penggunaan, memiliki ukuran yang *compact*, memiliki durabilitas yang tinggi, memiliki *clamp* untuk kestabilan. Dan pada tabel *Benchmarking* pada alternatif 2 memiliki sifat keunggulan lebih banyak dibanding alternatif 1 dan 3.

3.4 Tahap Action

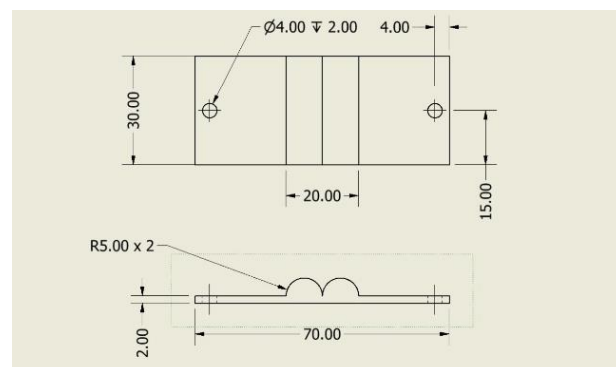
Pada tahap *action* akan dilakukan perancangan *design drilling jig* sesuai dengan pilihan alternatif terbaik sesuai dengan hasil dari *benchmarking*



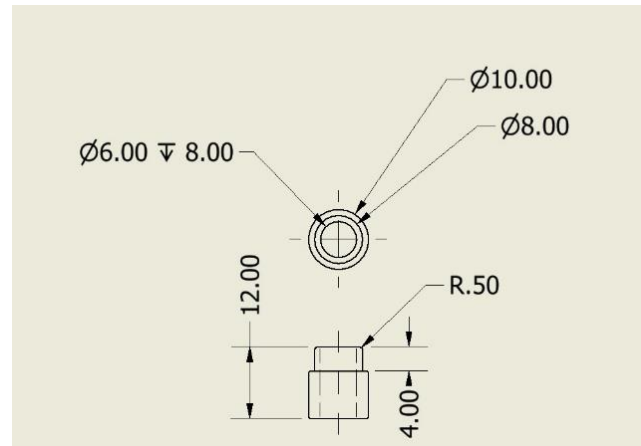
Gambar 6. Assembly Desain Usulan Jig



Gambar 7. Bagian Atas Desain Usulan Jig



Gambar 8. Bagian Bawah Desain Usulan Jig



Gambar 9. Bagian *Bushing Jig*

Tabel 2. BOM Desain Usulan

<i>Item Number</i>	<i>Part Name</i>	<i>Material</i>	<i>Quantity</i>
1	<i>Jig Atas</i>	Aluminium	1
2	<i>Jig Bawah</i>	Aluminium	1
3	AS 1427-M4 x 40	Aluminium	2
4	<i>Bushing</i>	Aluminium	1

Perancangan desain ini menunjukkan *drawing* dan juga *Bill of Material* dari desain usulan yang kami ambil, untuk prosedur penggunaan yang digunakan adalah:

1. Kendorkan baut pada *jig*.
2. Letakkan benda kerja besi *round hollow*.
3. Kencangkan baut pada *jig* hingga benda kerja tidak bergerak.
4. Pastikan benda kerja rata dengan menggunakan *water pass*.
5. Masukkan mata bor ke dalam *bushing*.
6. Mulai proses pengeboran.

4. Simpulan

Kesimpulan dari analisis yang dilakukan dengan metode NIDA, terdapat 3 desain usulan yang dibuat untuk menjadi alat bantu produksi pada Praktikum Perancangan Teknik Industri II, dan 1 alternatif dipilih menggunakan metode *benchmarking*. Hasil desain usulan yang diajukan hanya merupakan CAD, perlu peninjauan lebih lanjut untuk menindaklanjuti *paper* ini.

Daftar Pustaka

- Tohidi, H., & Algeddawy, T. (2015). Planning of Modular Fixtures in a Robotic Assembly System. 48th CIRP, 252-257
- Ulrich, K. T. (2003). Product design and development. Tata McGraw-Hill Education
- Saksvik, P. Ø., Torvatn, H., & Nytrø, K. (2002). Systematic occupational health and safety work in Norway: a decade of implementation. Safety Science.
- Fiedler, F. (2024). *Jigs and Fixtures in Production: A Systematic Literature Review*. Journal of Manufacturing Systems, 72(1), 373-405. DOI: 10.1016/j.jmsy.2023.10.006
- Rajesh, S. (2021). Multi Component Drill *Jig* for Brake Lining Component. Materials Today: Proceedings, 46(1), 3909-3906. DOI: 10.1016/j.matpr.2021.02.342

Perancangan Alat Bantu Kerja pada Proses *Cutting Part* di Untung Makmur Furniture dengan Metode DFM

Najwa Mumtaz^{*1)}, Nicholas Cristoper Panggabean²⁾, Revy Andana Putra³⁾, dan Yunita⁴⁾

^{1,2,3,4)} Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami No. 36,
Ketingan, Jebres, Surakarta, 57126, Indonesia

Email: najwamumtaz70@student.uns.ac.id, nichogbn03@student.uns.ac.id,
revyandana@student.uns.ac.id, yunita14@student.uns.ac.id

ABSTRAK

Proses *cutting part* menggunakan *table saw* dalam pembuatan *furniture* di Untung Makmur Furniture menghadapi berbagai masalah seperti penurunan kualitas, peningkatan biaya, dan ketidakefisienan karena harus memperbaiki atau mengulangi pemotongan yang tidak presisi. Penelitian ini bertujuan untuk merancang *jig* yang dapat meningkatkan kualitas dan presisi pemotongan menggunakan metode *Design for Manufacturing* (DFM). DFM mencakup identifikasi dan analisis masalah dengan diagram *fishbone* untuk menentukan akar penyebab ketidakefisienan serta pembuatan desain *jig* yang tepat. Hasil yang diperoleh adalah desain *jig* pada *table saw* menggunakan *software* Autodesk Inventor yang dirancang untuk memastikan stabilitas dan konsistensi dalam proses pemotongan. Implementasi desain *jig* ini diharapkan mampu meningkatkan presisi potongan kayu, kualitas produksi, mengurangi biaya, dan meningkatkan efisiensi operasional di Untung Makmur Furniture. Penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam peningkatan kualitas dan efisiensi produksi di sektor industri *furniture*, khususnya bagi UMKM yang terus berupaya meningkatkan daya saing mereka di pasar.

Kata kunci: *jig*, alat bantu, *table saw*, *design for manufacturing*

1. Pendahuluan

Industri furnitur memegang peran penting dalam penyediaan produk rumah tangga seperti meja, kursi, dan lemari. Industri ini tidak hanya menyediakan kebutuhan dasar, tetapi juga memenuhi selera estetika konsumen yang semakin beragam. Sebagai UMKM, Untung Makmur Furniture berupaya keras untuk tetap kompetitif di pasar dengan meningkatkan kualitas dan efisiensi produksinya. Dalam proses produksinya, perusahaan ini mengandalkan *table saw*, sebuah mesin pemotong kayu dengan piringan pisau bergerigi yang digerakkan oleh motor listrik. Mesin ini adalah komponen vital dalam pembuatan produk furnitur, karena digunakan untuk memotong kayu dengan berbagai bentuk dan ukuran sesuai dengan desain yang diinginkan.

Untuk menghemat biaya, Untung Makmur Furniture memutuskan untuk merakit sendiri mesin *table saw* mereka. Langkah ini memang berhasil mengurangi pengeluaran awal, namun di sisi lain, mesin rakitan ini sering kali menghasilkan potongan kayu yang tidak presisi. Ketidakpresisian ini berdampak langsung pada kualitas produk akhir, mengakibatkan produk yang dihasilkan tidak memenuhi standar yang diharapkan oleh konsumen. Selain itu, ketidakakuratan pemotongan ini juga mengakibatkan peningkatan limbah material dan kebutuhan untuk melakukan pemotongan ulang, yang akhirnya menurunkan efisiensi produksi secara keseluruhan.

Dalam era globalisasi yang sangat kompetitif, konsumen memiliki ekspektasi yang tinggi terhadap kualitas produk. Mereka tidak hanya menginginkan produk yang fungsional, tetapi juga produk yang memiliki kualitas estetika tinggi dan tahan lama. Karena itu, alat bantu produksi diperlukan untuk memfasilitasi dan mempercepat proses produksi, menciptakan

produk yang konsisten, meningkatkan kualitas produksi, mengurangi biaya produksi, dan meningkatkan keselamatan operator.

Jig & fixture adalah salah satu contoh alat bantu produksi yang berguna untuk mengatasi tantangan di industri manufaktur (Setiawan et al., 2023). *Jig* dan *fixture* merupakan peralatan mesin yang dipakai untuk mendukung produksi, termasuk operasi permesinan, perakitan, dan inspeksi. Pemanfaatan *jig* dan *fixture* sangat menguntungkan karena dapat mempercepat proses pembuatan produk dan meningkatkan akurasi, sambil mengurangi biaya produksi (Siva et al., 2019). Dengan alat bantu ini, potongan kayu yang dihasilkan dapat lebih sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan, mengurangi kesalahan dan kebutuhan untuk melakukan pemotongan ulang.

Penelitian ini bertujuan mengusulkan desain *jig* menggunakan pendekatan *Design for Manufacturing* (DFM). Pendekatan DFM difokuskan untuk merancang produk yang mudah diproduksi dengan biaya yang rendah dan kualitas yang tinggi. *Jig* yang diusulkan dirancang untuk memastikan kayu tetap stabil dan terarah selama pemotongan, menghasilkan potongan yang lebih presisi dan konsisten. Implementasi *jig* ini diharapkan dapat meningkatkan kualitas potongan kayu, efisiensi produksi, dan mengurangi kesalahan pada Untung Makmur Furniture.

Metodologi penelitian ini dimulai dengan identifikasi masalah utama yang dihadapi oleh Untung Makmur Furniture dalam proses *cutting part*. Identifikasi masalah dilakukan dengan menggunakan diagram *fishbone*, yang membantu menguraikan faktor-faktor penyebab ketidakpresisian pemotongan kayu. Setelah identifikasi masalah, tahap berikutnya adalah merancang *jig* menggunakan *software* Autodesk Inventor. *Software* ini dipilih karena kemampuannya dalam membuat model 3D yang detail dan akurat, serta menyediakan berbagai fitur yang mendukung analisis teknis desain.

Menurut penelitian Seloane et al. (2020), keuntungan utama dari penggunaan *jig* dan *fixture* adalah kemampuannya untuk bertahan lama, mengurangi waktu *setup*, meningkatkan produktivitas, serta mengurangi kebutuhan pengambilan keputusan dalam operasi yang melibatkan komponen standar. Hal ini menunjukkan bahwa *jig* yang akan dirancang tidak hanya memberikan manfaat langsung dalam proses produksi, tetapi juga membantu menyederhanakan pengelolaan operasional dan meningkatkan efisiensi keseluruhan.

2. Metode

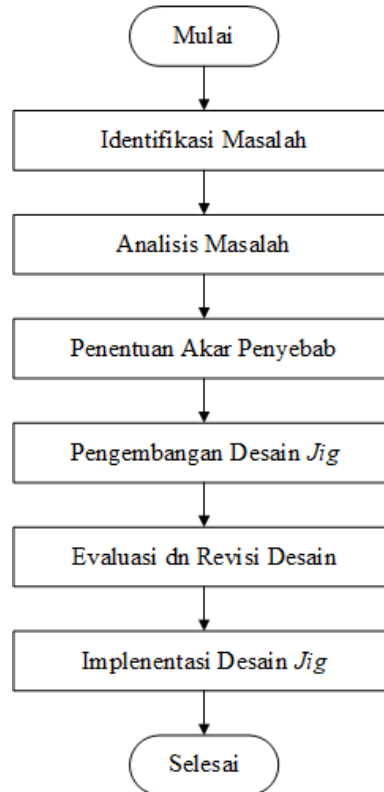
Dalam upaya meningkatkan akurasi dan efisiensi produksi pada Untung Makmur Furniture, metode *Design for Manufacturing* (DFM) digunakan untuk merancang alat bantu *cutting part* berupa *jig* untuk *table saw*. Metode ini memungkinkan perancangan yang lebih efisien, meminimalkan biaya, serta memaksimalkan kualitas produk dengan mempertimbangkan aspek manufaktur sejak tahap desain. Menurut Hou, DFM adalah teknik yang diterapkan selama tahap perancangan produk dengan tujuan mempermudah pembuatan setiap komponen. Metode ini memastikan bahwa saat merancang produk baru, tidak hanya kebutuhan produk yang terpenuhi tetapi juga desain dan proses pembuatannya (Siswanto & Arista, 2023).

Prinsip-prinsip DFM mencakup simplifikasi desain, memperluas desain modular, standarisasi komponen, menggabungkan fungsi dalam satu part, dan merancang produk dengan kemudahan dalam proses manufaktur (Sitepu & Brilioneristen, 2023). Dengan menerapkan prinsip-prinsip ini, efisiensi dan kualitas produksi dapat meningkat serta mengurangi biaya produksi secara keseluruhan.

Selain itu, penerapan DFM membantu dalam memilih material yang tepat dan proses manufaktur yang paling efisien. Hal ini termasuk pemilihan bahan baku yang mudah diolah dan proses manufaktur yang lebih sedikit memerlukan langkah-langkah tambahan atau peralatan

husus. DFM juga mempertimbangkan toleransi dan keakuratan dalam perakitan, memastikan bahwa komponen-komponen produk dapat dipasang dengan mudah dan konsisten tanpa memerlukan penyesuaian yang rumit.

Berikut adalah *flowchart* dari tahapan penelitian.



Gambar 1. *Flowchart* Penelitian

Langkah pertama dalam penelitian ini adalah identifikasi masalah yang mencakup pemahaman menyeluruh terhadap kendala-kendala produksi. Identifikasi dilakukan dengan mengumpulkan data tentang ketidakpresisian pemotongan kayu yang mungkin disebabkan oleh keausan mesin atau faktor-faktor lain. Selain itu, analisis juga dilakukan terhadap peningkatan biaya produksi, seperti biaya bahan baku atau kerugian akibat pemotongan yang tidak presisi yang menghasilkan limbah atau produk cacat.

Setelah masalah diidentifikasi, langkah selanjutnya adalah analisis masalah menggunakan diagram *fishbone* (diagram tulang ikan). Diagram ini membantu dalam mengidentifikasi faktor-faktor penyebab ketidakefisienan dan ketidakpresisian dalam proses pemotongan kayu. Analisis juga dilakukan terhadap desain produk dan proses pembuatannya dengan mempertimbangkan berbagai faktor yang memengaruhi efisiensi dan kualitas produksi. Faktor-faktor seperti kemudahan pembuatan, kebutuhan akan alat atau keterampilan khusus, keandalan produk yang dihasilkan, serta biaya produksi secara keseluruhan menjadi fokus utama dalam analisis ini. Berdasarkan analisis *fishbone*, akar penyebab utama dari masalah yang dihadapi diidentifikasi. Identifikasi ini penting untuk memastikan bahwa solusi yang dirancang benar-benar dapat mengatasi permasalahan yang ada.

Setelah akar penyebab diidentifikasi, tahap berikutnya adalah pengembangan desain *jig*. Desain *jig* dibuat menggunakan *software* Autodesk Inventor, dengan mempertimbangkan aspek teknis, praktis, dan biaya untuk memastikan *jig* dapat digunakan dengan mudah dan efektif dalam proses produksi. Dengan memperhitungkan faktor-faktor ini secara menyeluruh, dapat

dikembangkan desain *jig* yang tidak hanya memperbaiki ketidakpresisian pemotongan kayu, tetapi juga mengurangi biaya produksi secara signifikan sambil meningkatkan efisiensi operasional secara keseluruhan.

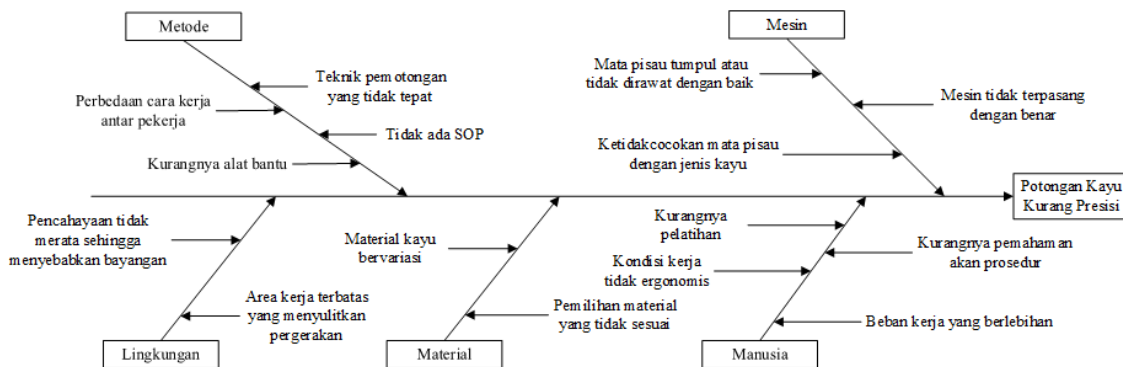
Desain *jig* yang telah dibuat kemudian dievaluasi untuk memastikan bahwa desain tersebut memenuhi semua kriteria yang telah ditentukan. Berdasarkan evaluasi, revisi desain dilakukan jika diperlukan. Setelah desain *jig* final telah disetujui, *jig* tersebut dapat diimplementasikan dalam proses produksi di Untung Makmur Furniture. Implementasi ini mencakup instalasi *jig* pada *table saw* dan pelatihan operator produksi untuk menggunakan *jig* dengan benar.

3. Hasil dan Pembahasan

Dalam merancang produk menggunakan metode *Design for Manufacturing* (DFM), berikut adalah beberapa tahapan yang harus dilalui.

3.1 Identifikasi Masalah

Observasi lapangan dilakukan di lokasi produksi Untung Makmur Furniture untuk mendapatkan gambaran tentang bagaimana proses produksi yang sedang berlangsung. Hasil observasi dan wawancara dengan pekerja menunjukkan bahwa salah satu masalah yang ada pada proses produksi adalah ketidakpresisian hasil pemotongan kayu. Berikut adalah analisis penyebab ketidakpresisian pemotongan kayu yang disajikan dalam bentuk diagram sebab akibat.



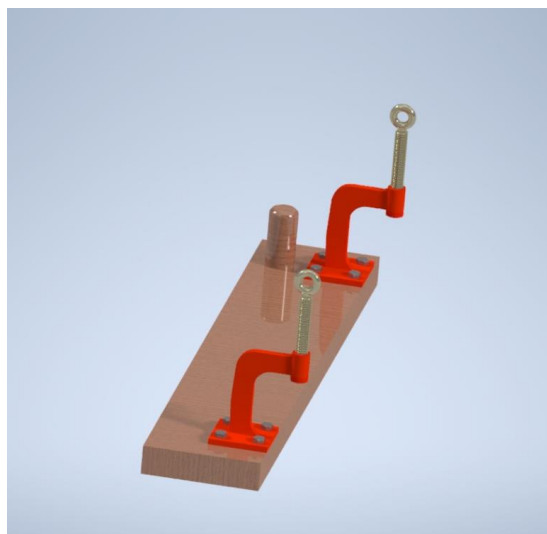
Gambar 2. Fishbone Diagram

Berdasarkan diagram tersebut, terdapat beberapa faktor utama yang mempengaruhi ketidakpresisian, yaitu metode, mesin, lingkungan, material, dan manusia. Pada aspek metode, terdapat beberapa penyebab seperti perbedaan cara kerja antar pekerja, kurangnya alat bantu, teknik pemotongan yang tidak tepat, dan tidak adanya SOP (*Standard Operating Procedure*), yang berkontribusi terhadap ketidakseragaman dan ketidakpresisian dalam pemotongan kayu. Untuk aspek mesin, penyebabnya meliputi mata pisau yang tumpul atau tidak dirawat dengan baik, ketidaksesuaian mata pisau dengan jenis kayu, serta mesin yang tidak terpasang dengan benar, yang menyebabkan pemotongan kayu menjadi tidak presisi. Lingkungan kerja juga memiliki peran, di mana pencahayaan yang tidak merata menyebabkan bayangan yang mengganggu dan area kerja yang terbatas menyulitkan pergerakan pekerja, yang pada akhirnya mempengaruhi kualitas pemotongan. Material kayu yang bervariasi dan pemilihan material yang tidak sesuai juga menjadi penyebab penting dalam ketidakpresisian. Kondisi kerja yang tidak ergonomis dan kurangnya pelatihan pekerja menambah masalah ini, bersama dengan kurangnya pemahaman pekerja akan prosedur dan beban kerja yang berlebihan.

Untuk mengatasi masalah ketidakpresisian pemotongan kayu menggunakan *table saw*, diperlukan perancangan/desain *jig* yang sesuai. *Jig* ini harus dirancang untuk memastikan stabilitas dan konsistensi dalam proses pemotongan. Beberapa kriteria penting untuk *jig* tersebut meliputi stabilitas, di mana *jig* harus dapat menjaga posisi kayu dengan stabil selama proses pemotongan, mengurangi getaran dan pergerakan yang tidak diinginkan. Selain itu, *jig* harus memastikan keseragaman setiap potongan kayu, sehingga ukuran dan bentuknya konsisten. Keamanan juga menjadi faktor penting, dengan *jig* yang dirancang untuk meminimalkan kontak langsung antara pekerja dan mata pisau, sehingga meningkatkan keselamatan kerja. Kemudahan penggunaan juga harus diperhatikan, di mana *jig* harus mudah diatur dan digunakan oleh pekerja, mengurangi waktu *set up* dan meminimalkan kesalahan operasional. Terakhir, ergonomi harus dipertimbangkan dalam desain *jig* untuk memastikan kenyamanan pekerja, mengurangi kelelahan, dan mengurangi potensi cedera.

3.2 Perancangan *Jig*

Dalam upaya meningkatkan akurasi dan efisiensi produksi pada proses *cutting part* di Untung Makmur Furniture, dirancanglah sebuah *jig* khusus yang menggunakan perangkat lunak Autodesk Inventor. *Jig* ini dirancang untuk digunakan dengan *table saw*, yang merupakan salah satu alat penting dalam proses pemotongan kayu. Berikut adalah gambar untuk *jig* yang dirancang.



Gambar 2. Desain *Jig*

Desain *jig* dirancang berdasarkan evaluasi menyeluruh atas kebutuhan produksi yang mencakup pertimbangan akan kemudahan dalam proses pembuatan, keandalan produk akhir, dan pengeluaran biaya secara menyeluruh. Dengan mempertimbangkan faktor ini, desain *jig* dipersiapkan sedemikian rupa sehingga dapat mengatasi masalah utama yaitu ketidakpresisian pemotongan kayu. Langkah-langkah dalam pembuatan *jig* melibatkan penggunaan teknologi dan metode produksi yang sesuai, sekaligus mempertimbangkan potensi penggunaan peralatan atau keahlian spesifik. Selain itu, desain *jig* juga menimbang aspek biaya produksi secara keseluruhan, memilih material dan proses yang efisien tanpa mengorbankan standar kualitas. Dengan demikian, desain *jig* bukan hanya mengatasi masalah ketidakpresisian pemotongan kayu, namun juga efektif dalam menekan biaya produksi secara signifikan dan meningkatkan efisiensi operasional secara menyeluruh.

Jig ini dirancang untuk digunakan dengan *table saw* dan memungkinkan pergerakan material secara vertikal. Cara penggunaannya adalah pastikan *table saw* mati, letakkan *jig* di *tabel saw* pada jalur khusus, dan kunci *jig* pada tempatnya. Atur ketinggian *jig* sesuai kebutuhan dengan mekanisme pengunci ketinggian, kemudian tempatkan material pada *jig*. Hidupkan *saw* dan mulai pemotongan, gerakkan material perlahan melalui mata gergaji. Setelah selesai, matikan *saw* dan lepaskan material. *Jig* ini memastikan presisi tinggi dan keamanan selama pemotongan, serta mudah disesuaikan untuk berbagai jenis pemotongan.

4. Simpulan

Tulisan ini menggarisbawahi pentingnya pendekatan *Design for Manufacturing* (DFM) dalam merancang *jig* untuk meningkatkan efisiensi dan kualitas produksi kayu di Untung Makmur Furniture. Dengan menerapkan prinsip-prinsip DFM sejak tahap identifikasi masalah hingga perancangan *jig*, desain *jig* yang dibuat diharapkan dapat mengatasi ketidakpresisian pemotongan kayu, mengurangi biaya produksi, dan meningkatkan efisiensi operasional secara keseluruhan. Desain *jig* yang dihasilkan juga tidak hanya mempertimbangkan aspek teknis, tetapi juga kebutuhan praktis dalam lingkungan kerja. Hal ini menegaskan nilai penting dari pendekatan DFM dalam menciptakan solusi yang efisien dan berkelanjutan dalam industri manufaktur. Implementasi desain *jig* ini menunjukkan bahwa dengan pemilihan metode yang tepat dan perencanaan yang matang, efisiensi proses *cutting part* dapat ditingkatkan secara signifikan. *Jig* yang dirancang menggunakan *software* Autodesk Inventor dapat memastikan stabilitas dan konsistensi dalam proses pemotongan kayu, sehingga mengurangi kesalahan dan kebutuhan untuk mengulangi pemotongan.

Daftar Pustaka

- Seloane, W. T., Mpofo, K., Ramatsetse, B. I., & Modungwa, D. (2020). Conceptual Design of Intelligent Reconfigurable Welding Fixture for Rail Car Manufacturing Industry. *Procedia CIRP*, 91, 583–593.
- Setiawan, I., Setiawan, R., Zahabiyah, R., Lestari, T. D., Triantoro, V. W., Farrel, V. D. S., Andriko, Y. H., & Puspita, W. Y. (2023). Penerapan Jig & Fixture pada Produksi Massal di Industri Manufaktur. *Jurnal Media Teknik dan Sistem Industri*, 7(2), 104-111.
- Siswanto, A. A., & Arista, A. (2023). Perancangan Alat Bantu Kerja Pada Proses Painting Bof Nonflip di PT XYZ. *Jurnal Comasie*, 9(5), 596.
- Sitepua, A., & Brilioneristenba. (2023). Penerapan Design for Manufacturing and Assembly (DFMA) pada Jam Dinding. *Talenta Conference Series: Energy and Engineering (EE)*, 6(1), 1-7.
- Siva, R., Siddardha, B., Yuvaraja, S., & Karthikeyan, P. (2020). Improving the productivity and tool life by fixture modification and renishaw probe technique. *Materials Today: Proceedings*, 24, 782-787.

Perancangan Alat Bantu Pada Proses Pelubangan Mesin *Milling* Menggunakan Metode *Design Thinking* dan Kaizen di Industri Mebel XYZ

Maulidan Mirza Tsany Ghozali^{*1)}, Mikail Naufal Kemal²⁾, Muhammad Rafi Nur Iman³⁾,
Joevanka Amanda Harijanto⁴⁾, dan Caesar Rifqi Ardana⁵⁾

^{1), 2), 3), 4), 5)}Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami No.
36, Kentingan, Jebres, Surakarta, 57126, Indonesia

Email: mirzagozali@student.uns.ac.id, mikimikail@student.uns.ac.id,
muhammadrafinuriman@student.uns.ac.id, joevankaamanda@student.uns.ac.id,
caesar.rifqi07@student.uns.ac.id

ABSTRAK

Jig dan *fixture* membantu individu melakukan pengerjaan mesin dalam rangkaian proses manufaktur, seperti pembuatan lubang produk kayu pada proses *woodworking*. Industri Mebel XYZ mengalami kendala dalam pengerjaan produk kayu, yaitu hasil pelubangan proses *milling* produk yang tidak presisi. Penelitian ini bertujuan untuk membuat desain *jig* yang lebih fleksibel dan sesuai dengan kebutuhan operator dalam melakukan proses *milling* untuk menghasilkan lubang yang presisi. Metode yang digunakan adalah metode *design thinking* dan kaizen. Hasil yang didapatkan adalah desain *milling machine jig* yang dibuat menggunakan *software* Autodesk Fusion 360. Pembuatan desain *milling machine jig* dapat membantu operator lebih mudah dalam membuat lubang yang lebih presisi ketika proses *milling* dan menghasilkan produk yang sesuai dengan spesifikasi.

Kata kunci: *Design Thinking*, *Jig*, Kaizen, *Milling*, Presisi

1. Pendahuluan

Jig dan *fixture* merupakan perangkat yang membantu individu dalam pengerjaan mesin (Gameros *et al.*, 2017). Dalam produksi, *jig* sering digunakan dalam proses pemotongan atau pembentukan, seperti pembuatan atau perluasan lubang. Menurut Prassetiyo *et al* (2016), *jig* berfungsi sebagai alat utama untuk mengarahkan mata pahat pada benda kerja sesuai dengan operasi yang diinginkan. Alat bantu ini juga sering digunakan dalam proses produksi seperti proses pembuatan barang dari kayu atau disebut dengan *woodworking*. Proses ini memerlukan tingkat presisi tinggi sehingga kontrol dari gerakan alat potong sangat diperlukan.

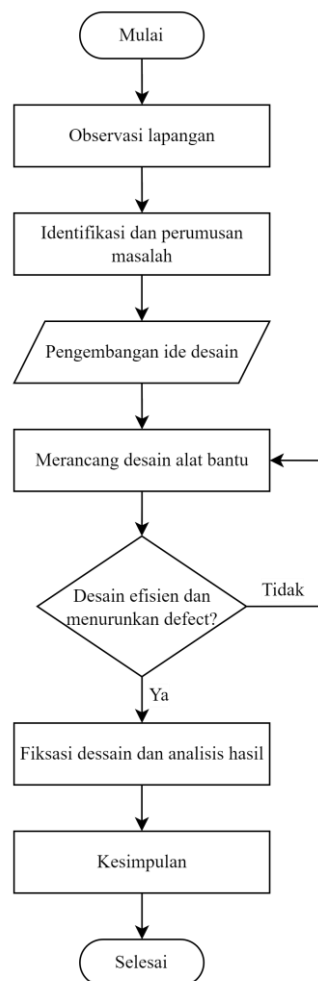
Berdasarkan survei dan pengamatan yang dilakukan pada Industri Mebel XYZ, ditemukan kendala yang kerap terjadi pada pengerjaan produk kayu oleh operator. Dalam proses pengerjaan kayu, operator sering mengalami kendala saat melakukan pemotongan atau pelubangan yang menyebabkan hasil *woodworking* kurang presisi. Lubang pada produk yang tidak presisi terjadi akibat kurangnya kemampuan *fixture* dalam menahan objek untuk tetap pada posisi yang diinginkan oleh operator. Desain *jig* yang kurang sesuai dengan bentuk dan ukuran objek yang akan dilubangi menjadi penyebab ketidakpresisian lubang yang dihasilkan. Selain hasil pengerjaan yang tidak sesuai dengan spesifikasi yang diminta, penurunan efisiensi produksi terjadi karena operator harus menghabiskan waktu untuk mengatur ulang posisi objek.

Masalah utama yang dianalisis adalah penyebab ketidakpresisian hasil lubang ketika proses *milling* dilakukan, yaitu desain *jig* yang kurang sesuai dan fleksibel dengan kebutuhan operator dalam melakukan proses *milling*. Oleh karena itu, *jig* dibutuhkan untuk membantu dan memudahkan pekerjaan operator. Penelitian ini bertujuan untuk membuat desain *milling machine jig* yang dapat membantu operator industri mebel dalam melakukan proses *milling*,

sehingga dapat dihasilkan lubang yang presisi sesuai dengan rancangan spesifikasi desain yang diminta. Dengan adanya *milling machine jig* yang didesain lebih fleksibel sesuai dengan kebutuhan pengerjaan, operator akan lebih mudah membuat lubang yang lebih presisi ketika proses *milling* dan menghasilkan produk perusahaan yang sesuai dengan spesifikasi.

2. Metode

Penelitian ini diawali dengan melakukan pengamatan secara langsung di Industri Mebel XYZ. Pengamatan secara langsung bertujuan untuk menemukan masalah pada produksi. Permasalahan yang ditemukan berupa adanya ketidakpresisian saat membuat lubang pada produk karena kurangnya kemampuan *fixture* dalam menahan objek. Kemudian, dilanjutkan dengan perancangan desain alternatif alat bantu untuk mengurangi permasalahan yang terjadi. Dua metode pendekatan penelitian yang digunakan, yaitu *design thinking* dan *kaizen*. Metode *design thinking* digunakan untuk mengatasi masalah dengan cara memahami kebutuhan manusia yang terlibat dari segi perancangan tatap muka (Ayu dan Wijaya, 2020). Sedangkan, metode *kaizen* mendorong hasil perancangan alat bantu dapat mendukung peningkatan perbaikan yang berkesinambungan. Selanjutnya, alat bantu yang telah dirancang dilakukan uji coba di Industri Mebel XYZ untuk mengetahui seberapa besar dampak positif dari adanya perancangan alat bantu ini. Terakhir, yaitu menarik kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan. Berikut merupakan *flowchart* metodologi penelitian yang dilakukan.



Gambar 1. Flowchart Metodologi Penelitian

Penjelasan dari *flowchart* metodologi penelitian pada Gambar 1. sebagai berikut.

a. Observasi Lapangan (*Emphatize*)

Melakukan pengamatan secara langsung dan wawancara dengan operator terkait permasalahan yang terjadi pada Industri Mebel XYZ. Pada saat melakukan observasi langsung, dilakukan pengukuran dimensi mesin *milling* yang ada di Industri Mebel XYZ sebagai acuan untuk melakukan perancangan desain alat bantu.

b. Identifikasi dan Perumusan Masalah (*Define*)

Berdasarkan hasil sebelumnya, dilakukan pendefinisian masalah dengan tujuan memperjelas arah penelitian dan permasalahan yang akan diselesaikan.

c. Pengembangan Ide Desain (*Ideate* dan *Kaizen*)

Brainstorming dilakukan dalam mencari solusi yang tepat terkait bentuk alat bantu yang dapat membantu dan mengefisienkan gerakan operator. Beberapa ide usulan yang muncul akan dilakukan pengkajian lebih dalam guna mendapatkan solusi yang terbaik. Menurut Syaifullah dan Alfattah (2023), pengembangan dan perbaikan ide perlu dilakukan untuk menanggulangi adanya permasalahan yang terjadi.

d. Fiksasi Desain dan Analisis Hasil (*Prototype* dan *Test*)

Setelah melakukan *brainstorming*, didapatkan hasil rancangan ide paling efisien yang menerapkan konsep *kaizen*. Untuk membuktikan keberhasilan perancangan alat, dilakukan uji coba pada Industri Mebel XYZ.

e. Kesimpulan

Menarik kesimpulan akhir untuk mengetahui apakah alat bantu yang telah dirancang mampu menjadi solusi dari permasalahan yang ada.

3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan metode penelitian yang digunakan, yaitu *design thinking*, terdapat 5 tahapan dari metode tersebut. Berikut merupakan penjabaran dari setiap tahap *design thinking* dalam perancangan alat bantu *milling machine jig*.

a. *Emphatize*

Tahap *emphatize* merupakan tahap dimana seorang perancang harus memahami dan mengetahui permasalahan yang terjadi dan harus diselesaikan. Pada fase ini desainer diharapkan mampu memasuki dunia pengguna, memahami cara pandang mereka terhadap permasalahan yang dihadapi (Baskoro & Haq, 2020). Langkah tersebut perlu dilakukan guna menciptakan solusi yang benar-benar diharapkan oleh pengguna. Informasi ini diperoleh melalui observasi dan wawancara langsung dengan calon pengguna. Berikut merupakan tabel pertanyaan wawancara serta simpulan dari permasalahan yang ditemui.

Tabel 1. Hasil Wawancara

No.	Pertanyaan
1.	Bagaimana proses pelubangan menggunakan mesin <i>milling</i> dilakukan?
2.	Apa saja kendala yang ditemukan saat menggunakan mesin <i>milling</i> ?
3.	Jenis cacat apa yang biasanya terjadi pada produk?

Tabel 2. Simpulan Hasil Wawancara

No.	Simpulan Hasil Wawancara
1.	Sebelum melakukan pelubangan, objek perlu diberi tanda secara manual. Objek diletakkan pada <i>table</i> dan dikunci supaya tidak bergerak. Mata bor diturunkan hingga menyentuh objek.

2.	Kurangnya kemampuan <i>fixture</i> dalam menahan objek, operator berisiko terluka saat melakukan proses operasi
3.	Bentuk lubang pada seluruh produk yang dihasilkan tidak presisi, bentuk lubang terkadang terlalu lebar dari tanda yang telah dibuat pada objek

b. *Define*

Pada tahap ini, dilakukan pengidentifikasian masalah berdasarkan wawancara yang telah dilakukan untuk mengetahui apakah keluhan dari calon pengguna terdapat masalah yang membutuhkan solusi (Widodo & Wahyuni, 2021). Hasil wawancara yang diperoleh dituangkan ke dalam bentuk *affinity map* atau *affinity diagram*. Menurut Adhitya *et al* (2022) dalam (Ayu & Wijaya, 2023), *affinity map* atau *affinity diagram* merupakan teknik yang digunakan dalam melakukan proses *user research* untuk mendapatkan berbagai macam wawasan dan juga peluang yang muncul. Berikut merupakan *affinity map* yang berisi hasil wawancara dengan calon pengguna.



Gambar 2. *Affinity Map*

Berdasarkan hasil wawancara tersebut, permasalahan yang terjadi ialah adanya *defect* pada objek, penandaan objek secara manual, dan potensi operator terluka saat proses pelubangan. *Defect* yang biasa terjadi adalah bentuk lubang yang terlalu besar atau terlalu kecil, sehingga sambungan yang dihasilkan pada objek yang akan di-*assembly* tidak kencang. Beberapa kendala yang ditemukan ini memerlukan solusi yang berfungsi untuk meningkatkan kualitas dan keamanan selama proses pelubangan.

c. *Ideate*

Pada tahapan *define* kita dapat mengetahui kebutuhan pengguna, dari kebutuhan tersebut kita akan mencari solusi untuk menyelesaikan masalah yang dihadapi oleh calon pengguna. Pada tahapan *ideate* ini kami melakukan *brainstorming* untuk menghasilkan ide yang bisa membantu calon pengguna. Dari *brainstorming* tersebut kami berhasil menemukan beberapa solusi untuk permasalahan yang dihadapi oleh calon pengguna. Pada tahap ini di dapat beberapa solusi. Permasalahan dan solusi dapat dilihat pada tabel berikut.

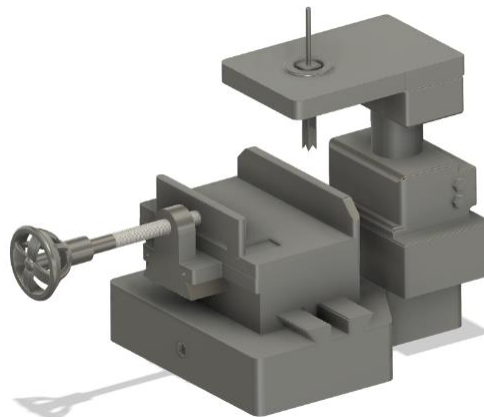
Tabel 3. Permasalahan dan Solusi

No.	Permasalahan	Solusi
1	Bentuk lubang pada seluruh produk yang dihasilkan tidak presisi	Membuat <i>fixture</i> agar pengencang tidak geser saat bor diturunkan

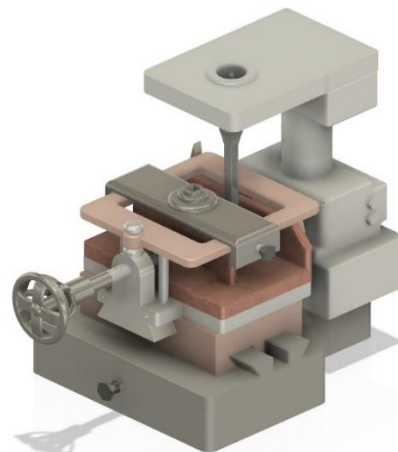
2	Bentuk lubang yang dihasilkan kadang terlalu lebar dari tanda yang telah dibuat pada objek	Menggunakan <i>jig</i> dengan pemandu bor yang presisi untuk memastikan lubang sesuai dengan tanda yang telah dibuat pada objek.
3	Sebelum melakukan pelubangan, objek perlu diberi tanda secara manual	Memberikan <i>jig</i> yang pas untuk lubang agar pengguna mudah dan tidak perlu memberi tanda secara manual
4	Operator berisiko terluka saat melakukan proses operasi	merancang dan menggunakan <i>jig</i> dan <i>fixture</i> yang aman serta menggunakan mekanisme penguncian berbasis karakuri.

d. *Prototype*

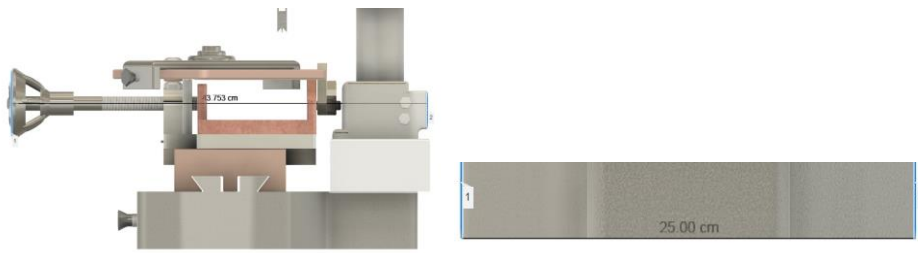
Dari permasalahan dan solusi di atas, dapat disimpulkan bahwa perancangan alat bantu berupa *jig* dan *fixture* yang menggunakan mekanisme penguncian berbasis karakuri diperlukan untuk menghindari risiko kecelakaan dan menyelesaikan permasalahan-permasalahan yang dialami oleh operator. Perancangan alat bantu *jig* dan *fixture* dapat dilihat melalui gambar di bawah ini.



Gambar 3. Desain 3D Awal Mesin Milling

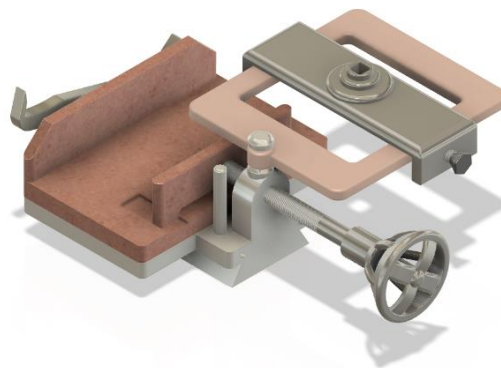


Gambar 4. Prototype Jig dan Fixture

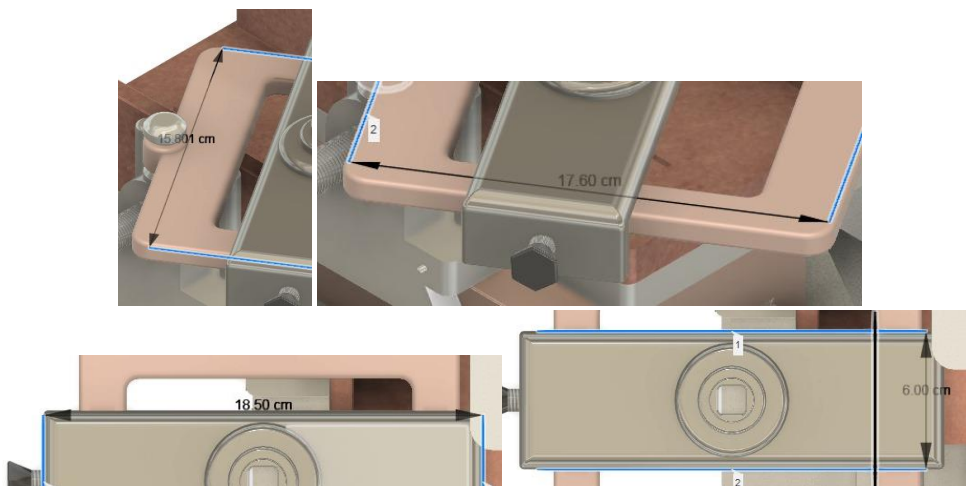


Gambar 5. Ukuran Keseluruhan

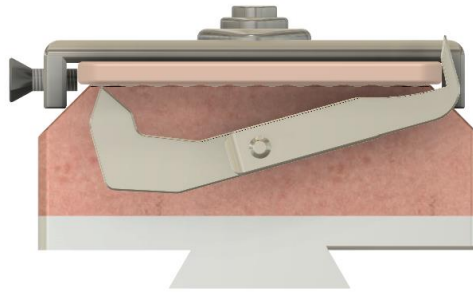
Usulan *jig* dan *fixture* yang diberikan dapat membantu operator untuk menghasilkan lubang yang presisi serta memudahkan dan meminimalkan pergerakan. *Jig* didesain *sliding* yang dapat bergerak horizontal untuk menyesuaikan lebar dari objek yang akan dikerjakan, sehingga operator hanya perlu memosisikan *jig* dengan menggeser dan menguncinya supaya tidak bergeser. Dalam meningkatkan keleluasaan operator saat memasukkan dan mengeluarkan objek pada *table*, *jig* juga didesain *swing* yang dapat berputar 90 derajat. Konsep ini dapat dilihat pada Gambar 7. Selain itu, untuk memastikan *jig* tidak berputar lebih dari 90 derajat, diterapkan konsep karakuri berbentuk jungkat-jungkit yang akan mengunci *jig* secara otomatis yang dapat dilihat pada Gambar 8. Ketika *jig* bergerak ke arah 90 derajat, salah satu sisi jungkat-jungkit akan naik untuk menahan *jig*. Pada sisi yang lain, *jig* akan tertahan dengan gerigi yang ada di bagian bawah *jig*. Adanya jungkat-jungkit dan gerigi pada *jig* berfungsi untuk mengunci dan memastikan *jig* tidak bergerak saat proses pelubangan berlangsung.



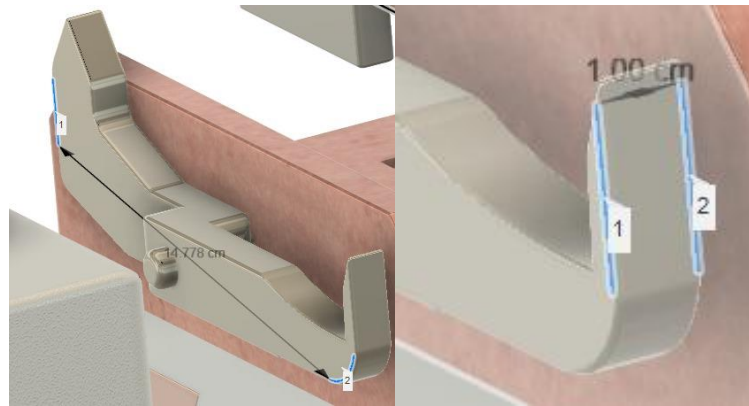
Gambar 6. Konsep *Swing* pada *Jig*



Gambar 7. Ukuran Detail *Swing* pada *Jig*



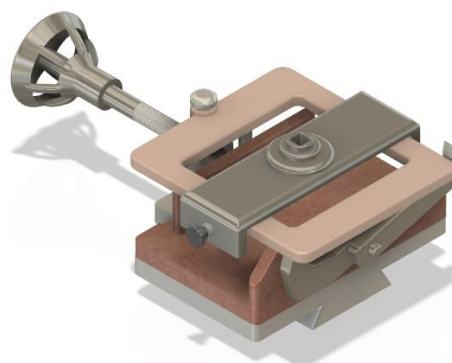
Gambar 8. Jungkat-Jungkit Karakuri



Gambar 9. Ukuran Detail Jungkat-Jungkit Karakuri

Mekanisme dari penggunaan *jig* dan *fixture* di atas sebagai berikut.

1. Operator memasukkan objek yang akan dilubangi pada *table* dan mengencangkan *fixture* dengan memutar setir hingga kencang dan tidak bergerak.
2. *Jig* diputar 90 derajat hingga terkunci otomatis oleh jungkat-jungkit.
3. Operator perlu menyesuaikan posisi *jig* dengan menggeser hingga sejajar dengan mata bor.
4. Turunkan mata bor dan proses pelubangan dapat dimulai.

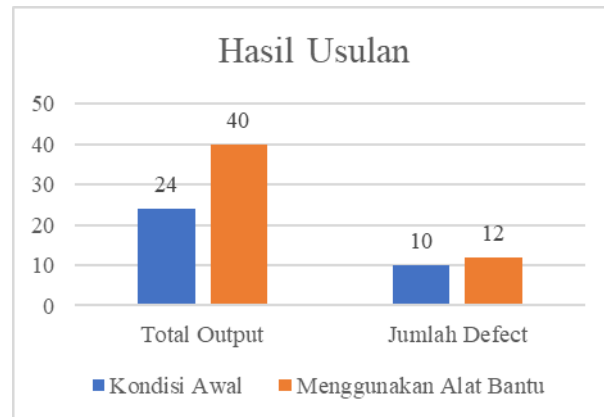


Gambar 10. Posisi Akhir *Jig* dan *Fixture*

e. *Test*

Tahap terakhir, yakni *test* atau pengujian *prototype* yang telah dibuat. Hasil rancangan *jig* dan *fixture* akan diserahkan pada Industri Mebel XYZ untuk selanjutnya diuji coba pada mesin *milling* yang ada. Observasi akan dilakukan kembali untuk mendapatkan

saran dan masukan dari operator setelah memakai *jig* dan *fixture* yang diusulkan. Tahap evaluasi dilakukan untuk pengembangan *jig* dan *fixture* sebelumnya. Alat bantu yang telah dirancang mampu meningkatkan efisiensi kerja Industri Mebel XYZ yang dapat dilihat dari jumlah produk cacat dan total *output* per hari sebagai berikut.



Gambar 11. Hasil Pengujian Alat Bantu Pada Industri Mebel XYZ

Gambar 10 menampilkan jumlah kaki meja yang dapat dihasilkan Industri Mebel XYZ pada kondisi awal dan setelah adanya usulan alat bantu. Pada kondisi awal, rata-rata jumlah kaki meja yang dapat dihasilkan sebanyak 24 buah dimana 10 buah diantaranya terdapat cacat atau *defect*. Setelah adanya usulan alat bantu yang ada, jumlah *output* yang dihasilkan dapat meningkat menjadi 40 buah dimana 12 diantaranya masih terdapat cacat. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa jumlah produk cacat yang awalnya 42% turun menjadi 30% dan peningkatan total *output* sebanyak 16 buah.

4. Simpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan pada Industri Mebel XYZ, ditemukan bahwa kendala utama dalam pengerjaan produk kayu adalah ketidakpresisian hasil perlubangan saat proses *milling*. Dengan menggunakan metode *design thinking*, desain *jig* yang lebih fleksibel dan sesuai dengan kebutuhan operator berhasil diciptakan. Desain *milling machine jig* ini membantu operator dalam menciptakan lubang yang lebih presisi sesuai dengan spesifikasi desain yang diminta. Dengan adanya *jig* yang didesain lebih fleksibel, efisiensi produksi dapat ditingkatkan karena operator dapat bekerja dengan lebih mudah dan menghasilkan produk yang sesuai dengan standar. Oleh karena itu, implementasi desain *jig* yang baru diharapkan dapat mengatasi kendala ketidakpresisian hasil lubang pada proses *milling* dan meningkatkan kualitas serta efisiensi produksi perusahaan.

Daftar Pustaka

- Ayu, T. B., & Wijaya, N. (2023). Penerapan Metode *Design Thinking* Pada Perancangan *Prototype* Aplikasi Payoprint Berbasis Android. *MDP Student Conference*.
- Baskoro, M. L., & Haq, B. N. (2020). Penerapan Metode *Design Thinking* Pada Mata Kuliah Desain Pengembangan Produk Pangan. *Jurnal IKRA-ITH Humanoria*, 4(2), 83-93.
- Gameros, A., Lowth, S., Axinte, D., Nagy-Sochacki, A., Craig, O., & Siller, H. R. (2017). *State-Of-The-Art In Fixture Systems For The Manufacture And Assembly Of Rigid Components: A Review*. *International Journal Of Machine Tools And Manufacture*, 123, 1-21.
- Prasetyo, B. & Tauhid, R.S. (2019). Penerapan Budaya Kerja Kaizen di PT X Kabupaten Bandung Barat. *At-Tadbir: Jurnal Ilmiah Manajemen*, 3(2), 132-146.

- Prasetyo, H., Rispianda, R., & Adanda, H. (2016). Rancangan *Jig* dan *Fixture* Pembuatan Produk *Cover On-Off*. *Teknoin*, 22(5).
- Syaifullah, H. & Alfattah, M. (2023) Pembuatan Alat Bantu Permesinan Untuk Mempercepat Proses Penghalusan *Rib* Model X Pada Lini Pemesanan *Outer Tube*. *Technologic*, 14(1), 1-8.
- Widodo, A. C., & Wahyuni, E. G. (2022). Penerapan Metode Pendekatan *Design Thinking* dalam Rancangan Ide Bisnis Kalografi. Prosiding Automata. Yogyakarta.

Perancangan Alat Bantu Produksi Berbasis Keamanan Untuk *Cutting Tool Jigsaw* Dengan Metode NIDA

Rafif Mar'ie Firdaus¹⁾, Salsabila Zabrina Apsari²⁾, Pradipta Daniswara³⁾, Neerzalla Atha Nafisah⁴⁾, Raditya Akmal Putra Isnanto⁵⁾, Tiara Tyagita Azzahra⁶⁾

¹⁾Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir Sutami 36A Surakarta, 57126, Indonesia

Email : raffirdaus29@student.uns.ac.id, zabrinasalsabila73@student.uns.ac.id,
pradiptadaniswara@student.uns.ac.id, neerzallaaa@student.uns.ac.id, radityaakmal25@student.uns.ac.id,
tiaratyagita04@student.uns.ac.id

ABSTRAK

Praktikum Perancangan Teknik Industri II merupakan praktikum yang dilaksanakan oleh mahasiswa Teknik Industri UNS. Selama proses praktikum, salah satu proses praktikum adalah proses pemotongan kayu dengan menggunakan *jigsaw*. Selama proses pemotongan terdapat masalah yaitu debu dan hasil potongan berterbangan. Hal ini mengakibatkan mata operator terkena debu dan serpihan potongan kayu meskipun sudah menggunakan *safety glass*, sehingga perlu adanya usulan alat bantu kerja untuk melindungi mata operator. Penelitian ini bertujuan merancang alat bantu produksi pada *jigsaw* dengan mempertimbangkan aspek kesehatan dan keselamatan kerja, serta memberikan keamanan dan kenyamanan bagi operator. Metode yang dipilih dalam perancangan alat bantu ini adalah metode NIDA (*Need, Idea, Decision, Action*). Berdasarkan hasil penelitian, kami dapatkan dua alternatif alat bantu kerja. Alternatif 1 menghasilkan *cover* yang dapat dipasang pada *base* dari alat potong. Alternatif 2 menghasilkan alat bantu yang dapat langsung dipasang pada alat potong sehingga meminimalkan getaran dan memiliki distribusi beban yang lebih merata. Kami lakukan analisis dari dua alternatif tersebut kemudian dipilih alternatif 2 sebagai usulan terbaik.

Kata kunci: Alat Bantu Kerja, *Jigsaw*, Metode NIDA

1. Pendahuluan

Dalam dunia industri terdapat beberapa alat yang dapat dipilih untuk membantu proses pembuatan produk, di mana setiap alat pasti memiliki kelebihan dan kekurangan. Dalam proses pengoperasian alat diharuskan untuk memperhatikan tingkat keamanan dan kenyamanan alat kerja agar menunjang pengerjaan operator selama proses operasi. Keselamatan kerja operator harus diupayakan untuk melindungi operator (Nurhayati, dkk., 2021). Oleh karena itu, dibutuhkan alat bantu pada suatu alat agar dapat mengurangi peluang kecelakaan kerja dan memaksimalkan produktivitas kerja.

Perancangan alat bantu merupakan rangkaian kegiatan mendesain dan mengembangkan alat bantu dengan metode dan teknik sesuai dengan yang dibutuhkan untuk meningkatkan produktivitas dan memenuhi fungsi keamanan, serta kenyamanan kerja dalam kegiatan operasi (Argadia & Rahmadiyah, 2015).

Pada *Laboratory of Production Planning and Design* Teknik Industri Universitas Sebelas Maret terdapat salah satu alat yang digunakan pada Praktikum Perancangan Teknik Industri II yaitu *jigsaw*. *Jigsaw* adalah jenis gergaji mesin kayu yang memiliki pisau tipis dan bergerigi yang bergerak naik-turun dengan cepat (Aprilla, 2017). Kelebihan dari mesin *jigsaw* adalah mampu memotong benda kerja dengan cepat dan menghasilkan potongan yang rapi. Akan tetapi, *jigsaw* juga memiliki beberapa kekurangan seperti berterbangannya debu dan hasil potongan benda kerja selama proses pemotongan. Hal ini mengakibatkan debu dan serpihan potongan benda kerja dapat mengenai mata operator meskipun sudah menggunakan *safety glasses*. Hal tersebut dapat

mengganggu keamanan dan kenyamanan operator saat proses pemotongan benda kerja dan dapat mengakibatkan penurunan produktivitas kerja.

Kasus di atas diambil dari pengalaman beberapa mahasiswa yang telah menjalani Praktikum Perancangan Teknik Industri II di mana saat beberapa mahasiswa melakukan pemotongan terhadap benda kerja menggunakan *jigsaw*, debu dan percikan potongan benda kerja tetap mengenai mata mahasiswa sehingga mengakibatkan gangguan penglihatan pada para mahasiswa.

Dalam pengoperasian suatu alat, operator akan mencari alat yang lebih praktis, aman, dan nyaman. Hal ini dikarenakan alat tersebut dapat meringankan beban operator selama pengoperasian alat. Selain itu, operator juga memperhatikan aspek keamanan kerja karena dapat meningkatkan keamanan selama proses pengoperasian alat.

Dari analisa latar belakang di atas maka penulis merancang alat bantu *jigsaw* yang dapat digunakan oleh operator secara aman dan nyaman sehingga memaksimalkan operator dalam pengoperasian alat.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang alat bantu pada *jigsaw* yang ditinjau dari aspek kesehatan dan keselamatan kerja dan memberikan keamanan dan kenyamanan pada operator selama pengoperasian *jigsaw*.

2. Metode

Penelitian ini diawali dengan pengamatan Praktikum Perancangan Teknik Industri II yang dilaksanakan oleh mahasiswa teknik industri Universitas Sebelas Maret. Penelitian dilakukan karena adanya keresahan dari para mahasiswa selama proses dilakukannya pemotongan dengan alat *jigsaw*. Setelah dilakukannya pengamatan, kemudian kamu melakukan proses perancangan alat bantu menggunakan metode NIDA. Metode NIDA adalah singkatan dari *need* (kebutuhan), *idea* (ide), *decision* (keputusan), dan *action* (aksi) (Ulrich, 2003). Metode ini digunakan untuk memahami kebutuhan yang para mahasiswa agar dapat mempermudah proses praktikum, agar kemudian dapat dilakukan inovasi pada ide-ide yang ada dan menghasilkan alat bantu untuk mempermudah proses praktikum. Setelah merancang alat bantu, dilanjutkan dengan penentuan alternatif perancangan dan menentukan desain alat bantu berdasarkan data yang telah dikumpulkan.

Metode NIDA digunakan dengan tujuan merancang produk sehingga dapat memberikan keamanan dan kenyamanan pada penggunaannya. Metode ini digunakan agar penulis memperoleh informasi dan ide-ide yang akan memudahkan oleh operator yang selanjutnya akan dikembangkan sehingga produk tersebut berkembang dari produk sebelumnya (Hanif, dkk., 2022). Berdasarkan hasil rancangan produk, dilakukan analisis terhadap kebutuhan mahasiswa untuk mengembangkan alat bantu yang siap digunakan (Muhammad, dkk., 2023). Selanjutnya, alternatif yang sesuai dikumpulkan dan perancangan dilakukan menggunakan perangkat lunak *Autodesk Inventor* (Hanif, dkk., 2022).

3. Hasil dan Pembahasan

Dalam kasus ini, peneliti merancang alat bantu tambahan pada proses pengerjaan pemotongan benda kerja menggunakan *cutting tool* yaitu *jigsaw* pada Praktikum Perancangan Teknik Industri II. Pengumpulan dan pengolahan data berdasarkan pengalaman pribadi yang bersangkutan dengan menggunakan metode NIDA. Inti dari penelitian ini adalah untuk membantu operator agar tidak mengalami cedera akibat ketidakamanan penggunaan serta meningkatkan keamanan dan kenyamanan kerja.

1. Pelaksanaan dan Evaluasi Penelitian

Pada tahap ini dijelaskan mengenai hasil dan evaluasi dari pelaksanaan penelitian.

Metode NIDA

a. *Need*

Pada tahap ini diperlukan faktor-faktor yang dapat meningkatkan keamanan dan kenyamanan operator saat memotong benda kerja menggunakan *jigsaw* dari keluhan-keluhan yang dialami oleh operator. Pada tahap ini dilakukan penjelasan rinci tentang langkah-langkah yang harus diambil untuk mengumpulkan informasi mengenai kebutuhan operator. Berikut identifikasi kebutuhan operator.

Keluhan	Kebutuhan
Operator merasakan sakit mata saat melakukan pemotongan menggunakan <i>jigsaw</i> dikarenakan debu dan percikan potongan berterbangan.	Penambahan <i>cover</i> sebagai alat bantu pada <i>jigsaw</i> agar saat digunakan debu dan percikan potongan tidak berterbangan dan mengenai mata operator.

b. *Idea*

Tahap ini bertujuan untuk menghasilkan ide-ide dalam perancangan yang didasarkan pada kebutuhan dan keluhan operator, sesuai dengan prinsip-prinsip keamanan dan keselamatan kerja. Pada tahap ini ide yang dikembangkan penulis adalah berupa penambahan *cover* pada *jigsaw* untuk meningkatkan keamanan pada operator.

Kebutuhan	Fitur
Penambahan <i>cover</i> sebagai alat bantu pada <i>jigsaw</i> agar saat digunakan debu dan percikan potongan tidak berterbangan dan mengenai mata operator.	<i>Cover</i> pada <i>jigsaw</i> untuk menjaga mata operator selama proses pemotongan.

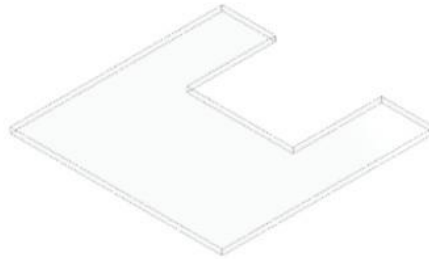
c. *Decision*

Pada tahap ini, dilakukan penilaian untuk memilih konsep desain alat bantu *cutting tool jigsaw* yang akan diterapkan dalam Praktikum Perancangan Teknik Industri II. Pada tahap decision penulis mengembangkan dua alternatif desain lalu muncul ide terbaik yang akan menjadi alternatif desain yang dapat membantu operator dalam menggunakan *cutting tool jigsaw*. Kedua alternatif tersebut menggunakan bahan akrilik, namun yang membedakan adalah ukuran dari kedua alternatif tersebut dan cara pemasangan pada *cutting tool jigsaw* yang digunakan pada Praktikum Perancangan Teknik Industri II. Pada tahap ini penulis memperhatikan keamanan pada saat proses pengoperasian alat agar memudahkan para operator ketika menggunakan *cutting tool jigsaw*.

d. *Action*

Pada tahap ini dilakukan perancangan cover untuk alat *jigsaw* menggunakan software Autodesk Inventor berdasarkan kebutuhan operator. Terdapat 2 alternatif yang dapat dijadikan alat bantu untuk mesin *jigsaw*.

1. Alternatif 1



Gambar 1. Alternatif 1



Gambar 2. Alternatif 1 pada *jigsaw*

Gambar 1 merupakan usulan desain untuk *cover jigsaw* dan penambahan pada *jigsaw* sebagai pelindung dari debu dan percikan potongan. Pada alternatif pertama ini yaitu dibuat dari bahan akrilik sehingga alat bantu ringan dan tetap kuat untuk menahan serbuk debu yang beterbangan. Model ini memiliki keunggulan keringanan pada alat *cutting jigsaw* dengan menggunakan 3M sehingga alat bantu dapat melekat padaudukan *jigsaw*. Alat bantu ini ringan akan tetapi akan mengalami banyak getaran selama proses pemotongan.

2. Alternatif 2



Gambar 3. Alternatif 2



Gambar 4. Alternatif 2 pada *jigsaw*

Gambar 2 merupakan usulan desain alternatif kedua yang digunakan untuk alat *cutting jigsaw* sebagai pelindung untuk serbuk debu yang beterbangan. Pelindung yang digunakan pada alternatif kedua ini terbuat dari bahan akrilik sehingga lebih ringan dan tetap kuat untuk menahan serbuk debu yang beterbangan ke arah muka. Model ini memiliki keunggulan pada penyangga yang digunakan kepada alat *cutting jigsaw* dengan menggunakan baut M6 sehingga lebih kuat untuk menahan getaran pada alat tersebut. Lubang yang tersedia untuk melindungi mata pisau bersifat paten (tetap) sehingga akan tetap aman ketika terjadi kesalahan teknis. Desain pelindung ini memiliki ukuran 245 x 90 mm dengan tebal 3 mm dengan bahan akrilik transparan sehingga tetap ringan dan tidak mengganggu penglihatan dalam melakukan proses pemotongan.

Dari kedua alternatif ini dapat dibuatkan metrik penilaian dari alternatif mana yang akan dipilih, berikut merupakan penilaian untuk pemilihan alternatif perancangan alat bantu

Tabel 1. Penilaian Metrik Alternatif

Metrics	Alternatif 1	Alternatif 2
Menjaga Operator dari serbuk debu	Ya	Ya
Pemasangan Mudah	Ya	Ya
Tidak Mudah Bergetar	Tidak	Ya
Memberikan Visibilitas	Ya	Ya
Beban distribusi merata	Tidak	Ya
Total	3	5

Dari penilaian metrik kedua alternatif, dapat disimpulkan bahwa alternatif yang diambil adalah alternatif 2 karena memiliki kelebihan bahwa alternatif tersebut tidak mudah bergetar dan beban alternatif terdistribusi secara merata

3. Analisis penelitian

Berdasarkan hasil dari kedua alternatif yang berupa desain tambahan pada *jigsaw* yang telah dirancang guna untuk keamanan dan kenyamanan penggunaannya, keduanya memiliki tujuan untuk menjaga operator dari debu dan percikan potongan benda. Kedua alternatif tersebut juga mudah dalam pemasangan pada *jigsaw* sehingga memberikan nilai efektif dan efisien. Selain itu, kedua alternatif juga memberikan visibilitas yang dapat dirasakan oleh operator dalam penggunaannya.

Desain yang akan dipilih sebagai alternatif yang berupa desain tambahan pada *jigsaw* adalah alternatif 2, dikarenakan dilihat dari desain tersebut memiliki distribusi beban yang lebih merata dibandingkan dengan desain alternatif 1. Selain itu, ketika alternatif kedua dipasang pada *jigsaw* hasilnya tidak mudah bergetar karena lubang untuk *jigsaw* sesuai dengan ukuran *jigsaw* yaitu tidak terlalu besar dan tidak terlalu kecil. Dengan demikian, saat *jigsaw* dioperasikan, alternatif kedua tetap stabil dan tidak bergetar.

4. Simpulan

Dalam penelitian ini dapat diambil kesimpulan bahwa ada 2 alternatif rancangan alat bantu *Cutting Tool Jigsaw* yang dipilih agar dapat mencapai tujuan dari penelitian ini. Yaitu alternatif 1 dan alternatif 2. Kedua alternatif ini menggunakan bahan dasar *acrylic*. Adanya alat bantu khusus pada konsep rancangan alat bantu *Cutting Tool Jigsaw* yang akan digunakan dalam Praktikum Perancangan teknik Industri II dapat membantu agar operator tidak sering terkena debu dan percikan potongan yang berterbangan. Dengan menerapkan metode NIDA, desain alat bantu dapat dikembangkan dengan memperhatikan aspek ergonomis dan faktor-faktor manusia. Meskipun kedua alternatif menawarkan perlindungan terhadap serbuk debu, kemudahan pemasangan, dan visibilitas bagi operator, alternatif yang dipilih adalah alternatif 2. Hal ini karena alternatif 2 memiliki keunggulan lebih banyak dibandingkan alternatif 1, seperti kestabilan yang lebih baik dan distribusi beban yang merata.

Daftar Pustaka

- Aprilla Majid. 2017. Pengaruh Variasi Diameter Benda Kerja terhadap Penurunan Putaran Mesin dan Waktu Pemotongan dengan Material Aluminium pada *Bandsaw Machine*. <https://perpustakaan.poltektegal.ac.id/index.p>
- Argadia, Rahmadiyah. 2015. Perancangan Alat Bantu untuk Memperbaiki Postur Kerja Pada Aktivitas Memelitur dalam Proses *Finishing*. <https://publikasiilmiah.ums.ac.id/xmlui/handle/11617/5743>
- Hanif, dkk. (2022). Perancangan Alat Bantu Menggunakan Metode NIDA pada Stasiun Pengeleman Industri Sendal Kulit Magetan. <https://idec.ft.uns.ac.id/wp-content/uploads/IDEC2022/PROSIDING/ID009.pdf>
- Muhammad, dkk. (2023). Perancangan Alat Bantu Produksi untuk Kaki Kursi dan Meja pada Toko Expo Furniture. https://idec.ft.uns.ac.id/wp-content/uploads/IDEC2023/PROSIDING2023/P3/PDF_ID095-1.pdf
- Nurhayati, I., Pratiwi, A. Y., & Hidayati, M. (2021). Pengaruh Keselamatan Dan Kesehatan Kerja (K3) Terhadap Produktivitas Kerja Perekam Medis Bagian Filing. *Jurnal Wiyata: Penelitian Sains dan Kesehatan*, 8(2), 140-146.
- Ulrich, K. T. (2003). *Product design and development*. Tata McGraw-Hill Education.

Perancangan Alat Bantu produksi pada Part Segitiga Siku Meja pada UD. Mahesa Jaya Furniture

Febrian Naufal Irfansyah¹⁾, Nashwan Fawzy²⁾, Rizky Putri Aisyah³⁾, Theodosius Wahyu Harry Putra⁴⁾, dan Pringgo Widyo Laksono⁵⁾

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami No. 36, Ketingan, Jebres, Surakarta, 57126, Indonesia

Email: febriannaufalirfan@student.uns.ac.id, nashwanfawzy@student.uns.ac.id, rizkyputriaisyah15@student.uns.ac.id, theodosius30@student.uns.ac.id, pringgo@ft.uns.ac.id

ABSTRAK

Mahesa Furniture, sebuah toko mebel di Surakarta, menghadapi tantangan dalam produksi akibat alat pemotong yang kurang presisi. Masalah ini mengakibatkan produk mebel tidak sesuai spesifikasi, menurunkan kualitas dan efisiensi produksi, serta meningkatkan biaya. Penelitian ini bertujuan untuk merancang alat bantu berupa jig menggunakan metode *Design for Six Sigma* (DFSS) dengan tujuan meningkatkan ketepatan dan konsistensi part yang diproduksi, serta mengatasi masalah ketidaktepatan dan meningkatkan kualitas serta efisiensi produksi. Metode DFSS dengan tahapan *Define, Measure, Analyze, Design, dan Verify* digunakan untuk merancang alat yang mampu memastikan ketepatan dan konsistensi *part* yang diproduksi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan *jig* yang didesain dengan DFSS mampu meningkatkan efisiensi produksi dan kualitas produk. *Jig* ini membantu mengurangi cacat produksi, meningkatkan keselamatan kerja, dan memudahkan proses manufaktur, memberikan solusi inovatif bagi industri mebel yang ingin bertransformasi dari metode tradisional ke pendekatan yang lebih modern dan efisien.

Kata Kunci: alat bantu *jig*, *design for six sigma* (DFSS), efisiensi produksi, kualitas produk

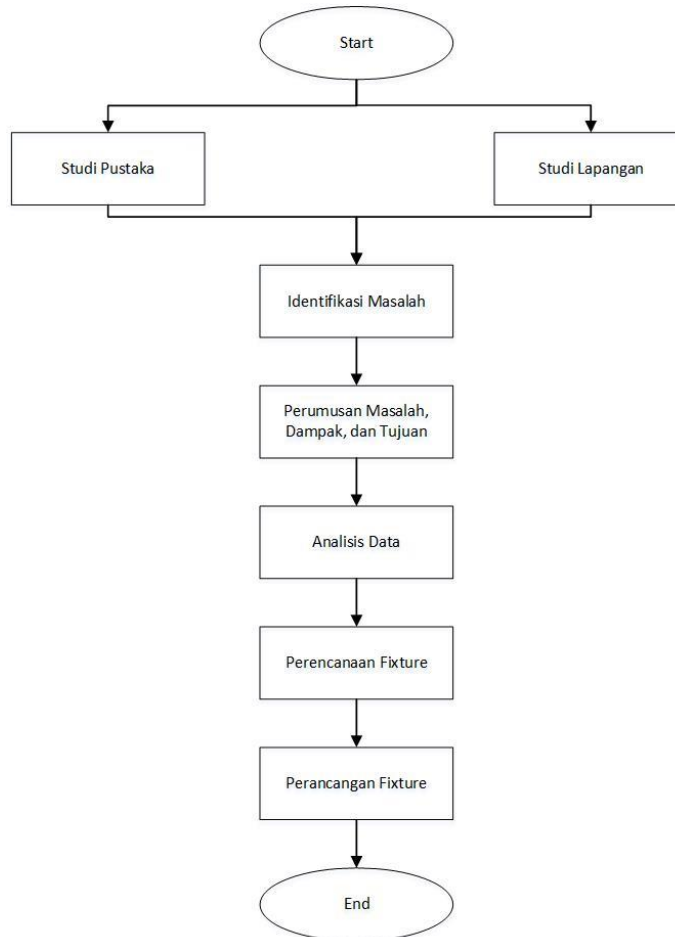
1. Pendahuluan

Mahesa Furniture, sebuah toko mebel yang telah lama dikenal dengan produk berkualitas tinggi, kini menghadapi tantangan signifikan dalam proses produksinya. Alat pemotong yang digunakan tidak memiliki tingkat kualitas dan presisi yang memadai, sering kali menghasilkan bagian mebel yang tidak sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Ketidaktepatan ini berdampak besar pada kualitas produk akhir, yang mengurangi kepuasan pelanggan dan memperpanjang waktu produksi karena diperlukan pemotongan ulang atau perbaikan. Selain itu, masalah ini juga meningkatkan biaya produksi dan menurunkan efisiensi operasional secara keseluruhan. Untuk menjaga reputasi dan kepuasan pelanggan, serta meningkatkan efisiensi produksi, Mahesa Furniture membutuhkan solusi yang inovatif dan efektif.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang alat bantu produksi berupa jig dengan menggunakan metode *Design for Six Sigma* (DFSS), yang terdiri dari tahapan *Define, Measure, Analyze, Design, dan Verify*. DFSS adalah pendekatan desain yang mengintegrasikan berbagai metodologi sistematis seperti Quality Function Deployment (QFD), TRIZ, *benchmarking*, dan analisis top-flop untuk mengusulkan solusi desain yang berorientasi pada kualitas dan inovasi (Frizziero et al., 2019). Penerapan jig ini diharapkan dapat meningkatkan ketepatan dan konsistensi bagian yang diproduksi, sehingga kualitas produk akhir terjaga dan proses produksi menjadi lebih efisien. Dengan menggunakan *jig*, Mahesa Furniture dapat memastikan bahwa setiap bagian yang diproduksi sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan, mengurangi cacat produksi,

meningkatkan keselamatan kerja, dan memudahkan proses manufaktur. Pendekatan ini memungkinkan Mahesa Furniture untuk bertransformasi dari metode produksi tradisional ke pendekatan yang lebih modern dan efisien, memberikan solusi yang dapat meningkatkan daya saing dan kualitas produk yang dihasilkan.

2. Metode



Gambar 1. Metodologi Penelitian

Adapun metodologi penelitian yang dilaksanakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

A. Start

Tahap awal di mana penelitian dimulai.

B. Studi Pustaka

Mengumpulkan informasi dari berbagai sumber tertulis seperti buku, jurnal, artikel, dan laporan penelitian sebelumnya yang relevan dengan topik penelitian.

C. Studi Lapangan

Mengumpulkan data langsung dari lapangan atau situasi nyata. Ini bisa melibatkan survei, wawancara, observasi, atau eksperimen.

D. Identifikasi Masalah

Berdasarkan data yang dikumpulkan dari studi pustaka dan studi lapangan, peneliti mengidentifikasi masalah utama yang perlu diselesaikan. Ini adalah masalah yang menjadi fokus penelitian.

E. Perumusan Masalah, Dampak, dan Tujuan

Peneliti merumuskan masalah dengan jelas dan spesifik. Mereka juga mengidentifikasi dampak dari masalah tersebut dan menetapkan tujuan penelitian yang ingin dicapai.

F. Analisis Data

Data yang telah dikumpulkan dianalisis untuk menemukan pola, hubungan, atau informasi penting lainnya. Metode analisis bisa bervariasi, mulai dari analisis statistik hingga analisis kualitatif, tergantung pada jenis data yang dikumpulkan dan pertanyaan penelitian.

G. Perencanaan Fixture

Peneliti merencanakan solusi atau perbaikan yang diperlukan. "Fixture" dalam konteks ini bisa berarti alat bantu, metode, prosedur, atau sistem yang dirancang untuk menyelesaikan masalah yang diidentifikasi.

H. Perancangan Fixture

Peneliti mendesain solusi atau perbaikan yang telah direncanakan dengan detail. Ini melibatkan pembuatan desain teknis, model, atau prototipe yang akan digunakan untuk implementasi solusi.

I. End

Penelitian berakhir setelah semua tahapan telah dilaksanakan.

3. Hasil dan Pembahasan

Dalam penelitian ini, penulis merancang alat bantu jig untuk pembuatan salah satu komponen meja yaitu segitiga penyangga meja pada UD. Mahesa Jaya Furniture. Pengumpulan dan pengolahan data dilakukan berdasarkan observasi lapangan. Penelitian ini bertujuan untuk mengurangi persentase terjadinya *defect* pada objek penelitian sehingga dapat meningkatkan produktivitas perusahaan dengan baik. Pengolahan data dilakukan dengan metode DFSS (*Design for Six Sigma*).

3.1. Define

Tujuan utama dari tahap *define* adalah untuk mengidentifikasi dan mendefinisikan masalah yang perlu dipecahkan serta menentukan kebutuhan dan harapan pelanggan (Kibbe, Lim & Dong., 2019). Langkah ini melibatkan pengumpulan data awal dan identifikasi jenis cacat. Hasil dari tahap ini menjadi dasar untuk langkah-langkah selanjutnya dalam pengembangan solusi yang efektif dan efisien. Berikut merupakan data *defect* dan data jenis *defect* dalam periode selama 2 minggu pada UD. Mahesa Jaya Furniture.

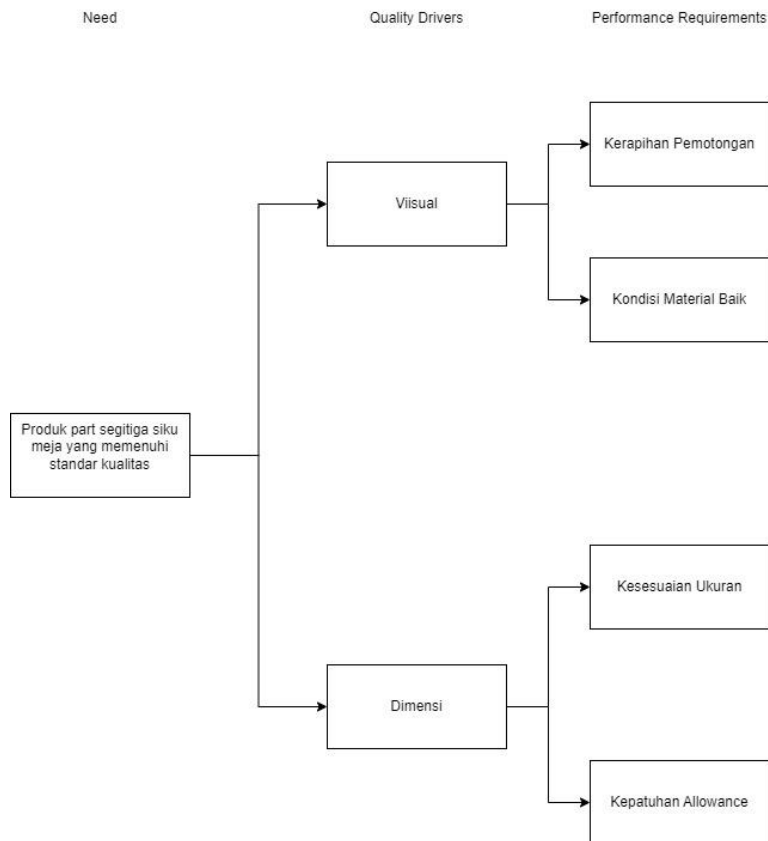
Tabel 1. Data *Defect* UD. Mahesa Jaya Furniture

No	Hari	Produksi	Defect
1	10/05/2024	20	1
2	11/05/2024	20	2
3	12/05/2024	14	1
4	13/05/2024	16	5
5	14/05/2024	19	4
6	15/05/2024	11	2
7	16/05/2024	17	1
8	17/05/2024	17	4
9	18/05/2024	16	5
10	19/05/2024	20	2
11	20/05/2024	10	1
12	21/05/2024	9	1
13	22/05/2024	12	5
14	23/05/2024	17	2

Tabel 1. Data Jenis *Defect* UD. Mahesa Jaya Furniture

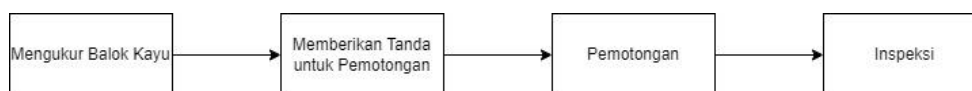
No	Jenis Defect	Deskripsi Defect
1	Retak	Terdapat keretakan pada benda kerja
2	Tidak Rata	Tidak rata saat pemotongan benda kerja
3	Miring	Sudut benda kerja miring
4	Tidak presisi	Dimensi benda kerja tidak presisi
5	Rapuh	Kekuatan benda kerja kurang kuat (rapuh)

Setelah mengetahui data *defect* dan apa saja jenis *defect* yang muncul, selanjutnya adalah merumus *critical to quality* (CTQ) dari kualitas produk. CTQ memiliki dua *quality drivers* yaitu visual dan dimensi, yang dimana memiliki kriteria perfomansi di setiap *quality drivers*. Berikut merupakan bagan CTQ produk.



Gambar 1. Bagan *Critical to Quality* Kualitas Produk

Dan berikut merupakan *flowchart* proses pembuatan produk. *Flowchart* proses produk digunakan untuk menentukan level sigma pada tahap *measure*.



Gambar 2. *Flowchart* Proses Pembuatan Produk

3.2. Measure

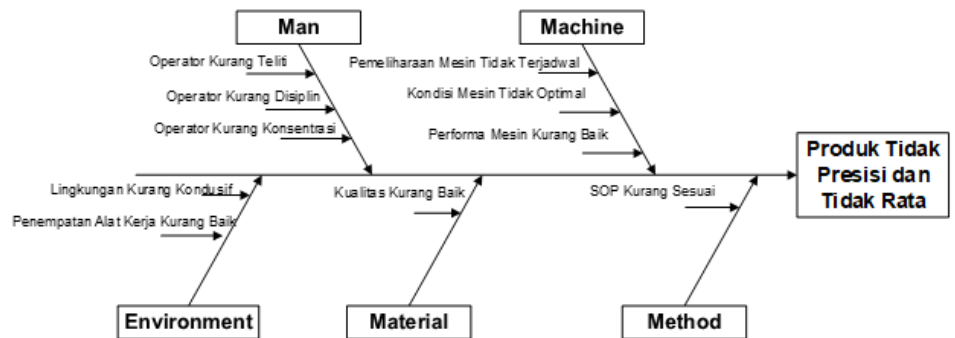
Pada tahap *Measure* dalam metode DFSS DMADV, tujuan utamanya adalah mengukur kinerja proses saat ini dengan mengumpulkan data yang relevan untuk menetapkan *baseline* dan mengidentifikasi area perbaikan (Kibbe, Lim & Dong., 2019).

Tabel 3. Tabel Pengolahan Data *Level Sigma*

No	Hari	Produksi	Defect	CTQ	DPU	DPO	DPMO	NILAI SIGMA
1	10/05/2024	20	1	2	0,0500	0,0125	12500,00	3,741402728
2	11/05/2024	20	2	2	0,1000	0,025	25000,00	3,459963985
3	12/05/2024	14	1	2	0,0714	0,01786	17857,14	3,600165493
4	13/05/2024	16	5	2	0,3125	0,07813	78125,00	2,917797138
5	14/05/2024	19	4	2	0,2105	0,05263	52631,58	3,119856259
6	15/05/2024	11	2	2	0,1818	0,04545	45454,55	3,19062163
7	16/05/2024	17	1	2	0,0588	0,01471	14705,88	3,677923069
8	17/05/2024	17	4	2	0,2353	0,05882	58823,53	3,064726471
9	18/05/2024	16	5	2	0,3125	0,07813	78125,00	2,917797138
10	19/05/2024	20	2	2	0,1000	0,025	25000,00	3,459963985
11	20/05/2024	10	1	2	0,1000	0,025	25000,00	3,459963985
12	21/05/2024	9	1	2	0,1111	0,02778	27777,78	3,414505825
13	22/05/2024	12	5	2	0,4167	0,10417	104166,67	2,758161561
14	23/05/2024	17	2	2	0,1176	0,02941	29411,76	3,38950996

3.3. Analyze

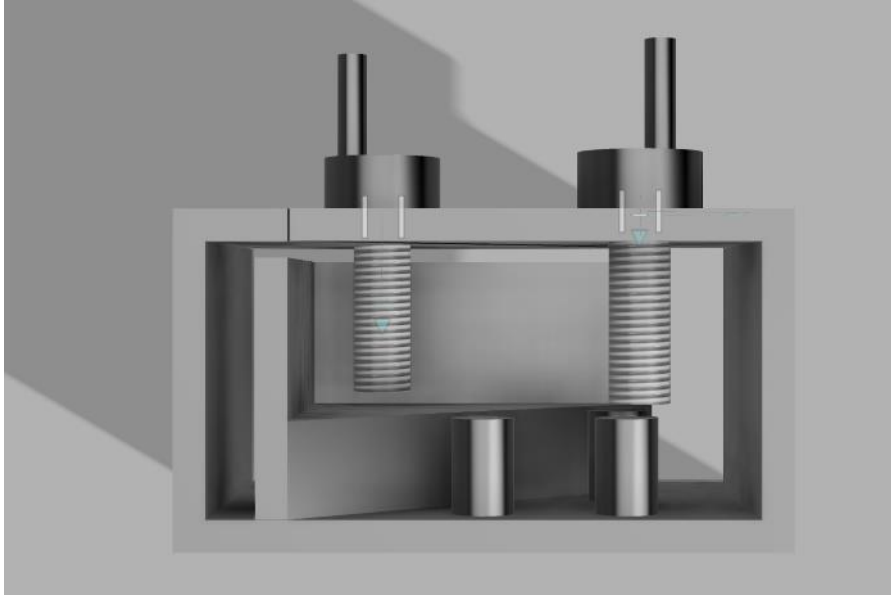
Pada tahap *Analyze* dalam metode DFSS DMADV, tujuan utamanya adalah menganalisis data untuk mengidentifikasi akar penyebab masalah menggunakan alat seperti diagram *fishbone*, sehingga dapat ditemukan solusi yang efektif (Kibbe, Lim & Dong., 2019).



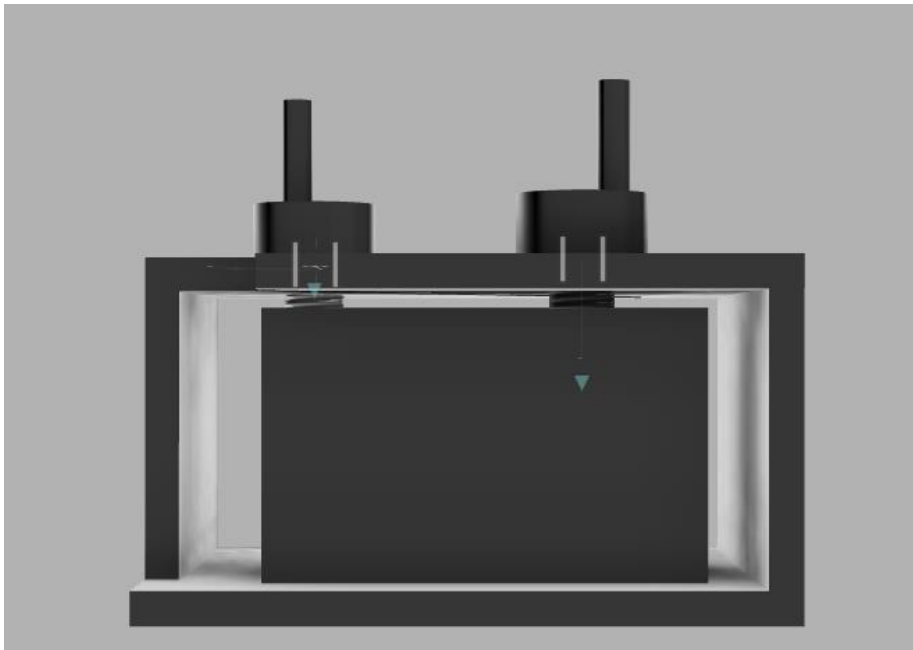
Gambar 3. Diagram *Fishbone*

3.4. Design

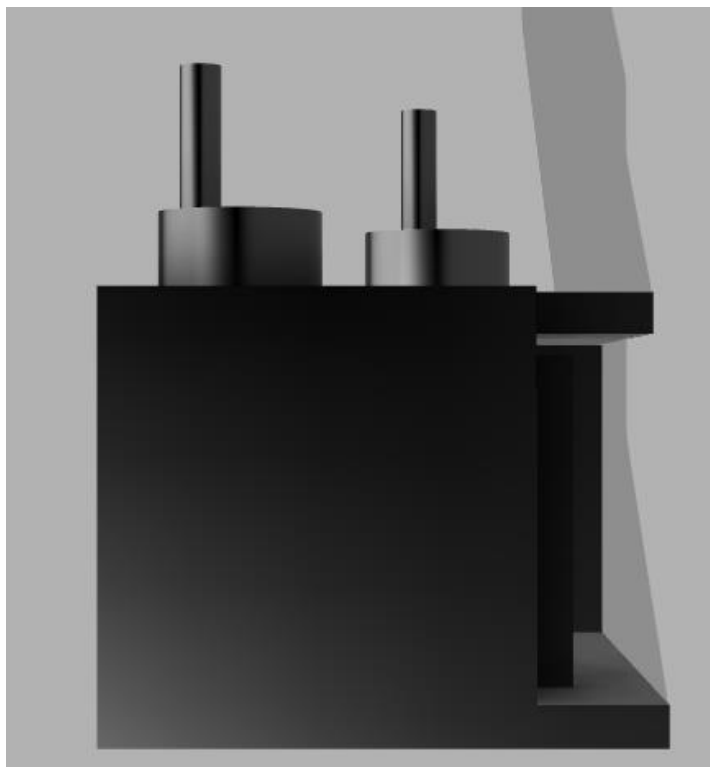
Pada tahap *Design* dalam metode DFSS DMADV, tujuan utamanya adalah merancang solusi yang memenuhi kebutuhan dan harapan pelanggan berdasarkan analisis data sebelumnya, dengan membuat *prototype* dan melakukan pengujian awal (Kibbe, Lim & Dong., 2019).



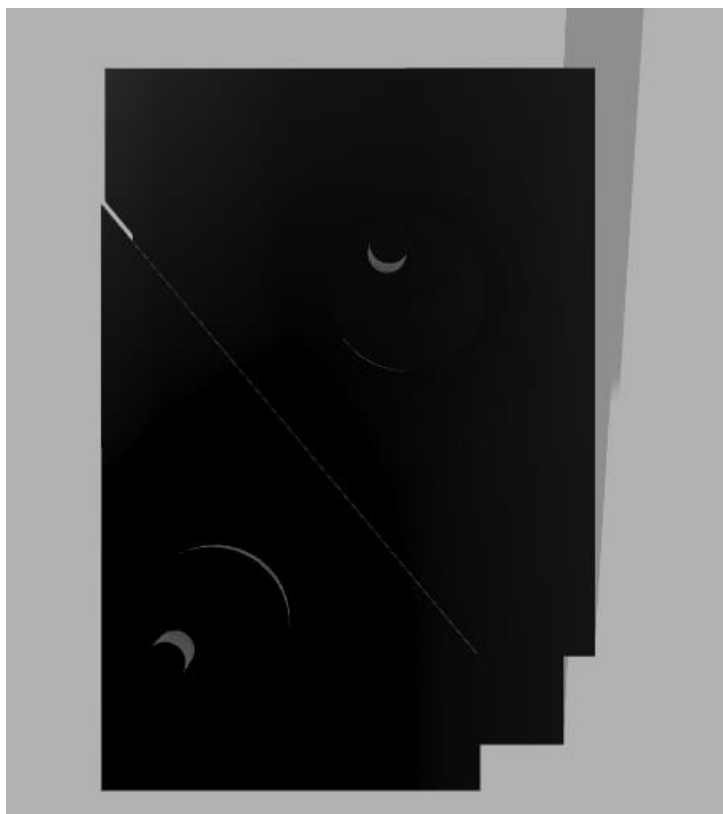
Gambar 4. Tampak Depan



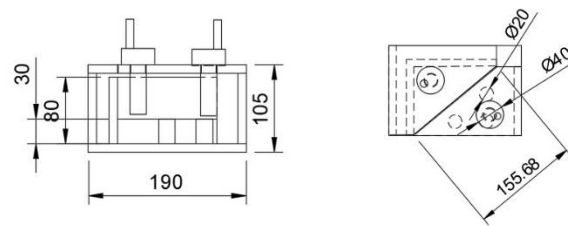
Gambar 5. Tampak belakang



Gambar 6. Tampak Samping



Gambar 7. Tampak Atas



Gambar 8. 2 Dimensi

Gambar diatas merupakan usulan desain alat bantu (*template jig*) pada UD. Mahesa Jaya Furniture. Tujuan usulan *template jig* tersebut yaitu agar mengurangi persentase terjadinya *defect*. Usulan alat bantu tersebut telah disesuaikan dengan ukuran benda kerja yang akan dipotong dengan fitur tambahan berupa pengencang yang bisa di *adjustable* sehingga dapat memudahkan pengguna dan meningkatkan keamanan.

3.5. *Verify*

Pada fase *Verify* dalam perancangan alat bantu produksi menggunakan metode DFSS DMADV, tujuan utamanya adalah memastikan bahwa JIG yang dirancang memenuhi standar kualitas yang telah ditentukan dan persyaratan produksi (Kibbe, Lim & Dong., 2019). Verifikasi dilakukan berdasarkan analisis dan data yang telah dikumpulkan sebelumnya selama fase *Define, Measure, Analyze, dan Design*. Langkah-langkahnya meliputi peninjauan ulang seluruh proses yang telah didokumentasikan untuk memastikan bahwa desain JIG telah mempertimbangkan semua faktor kritis kualitas (CTQ) dan potensi cacat yang telah diidentifikasi. Analisis statistik yang telah dilakukan sebelumnya digunakan untuk memvalidasi prediksi performa JIG. Hasil verifikasi didokumentasikan dalam laporan verifikasi dan mencakup saran untuk langkah-langkah berikutnya dalam implementasi.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penggunaan metodologi DFSS DMADV pada Mahesa Furniture dapat meningkatkan desain alat bantu produksi di industri mebel. Dengan menerapkan langkah-langkah *Define, Measure, Analyze, Design, dan Verify*, alat bantu jig yang dirancang mampu meningkatkan efisiensi dan kualitas proses produksi di Mahesa Furniture. Penggunaan jig ini telah terbukti mengurangi persentase cacat produksi, meningkatkan keselamatan kerja, dan memudahkan proses manufaktur. Selain itu, peningkatan dalam penanganan alat bantu membuat proses produksi di Mahesa Furniture menjadi lebih aman dan ramah pengguna. Mahesa Furniture, yang sebelumnya terjebak dalam metode tradisional, kini dapat mengambil manfaat besar dari pendekatan ini untuk mematahkan kebiasaan lama dan mengadopsi solusi inovatif yang mengurangi waktu tidak bernilai tambah dan meningkatkan efisiensi serta keselamatan dalam proses produksi. Dengan demikian, penerapan DFSS DMADV memberikan kontribusi nyata dalam meningkatkan daya saing dan kualitas produk yang dihasilkan oleh Mahesa Furniture.

Daftar Pustaka

Kibbe, C. G., Lee, J., & Dong, K. (2016). *Designing a test fixture with DFSS methodology. International Journal of Manufacturing Engineering*

Frizziero, L., Liverani, A., & Nannini, L. (2019). Design for Six Sigma (DFSS) applied to a new eco-motorbike. *Machines*, 7(3)

Perancangan Desain Alat Bantu *Jig* Dalam Meningkatkan Akurasi dan Keamanan Penggunaan *Miter saw* di Laboratorium P3 (Perencanaan Perancangan Produk)

Sulaiman Bilal Muzakhar^{*1)}, Riyan Farid Ferdiyansyah²⁾, Rifqi Zul Fahmi³⁾, dan Yashinta Putri Damayanti⁴⁾

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami No. 36, Ketingan, Jebres, Surakarta, 57126, Indonesia

Email: sulaimanbilal@student.uns.ac.id, riyanff@student.uns.ac.id, rifqizulfahmi@student.uns.ac.id, yashinta288@student.uns.ac.id

ABSTRAK

Pada Laboratorium P3, penggunaan alat *miter saw* untuk pemotongan material *square hollow* sering menghadapi masalah dalam hal presisi dan keamanan. Alat ini saat ini digunakan tanpa penahan atau *jig*, yang mengakibatkan hasil pemotongan yang kurang akurat dan meningkatkan potensi risiko kecelakaan kerja. Permasalahan utama yang diidentifikasi adalah kurangnya presisi pemotongan yang menyebabkan hasil potongan tidak konsisten, pemborosan material, dan perlunya pengulangan kerja. Selain itu, operator *miter saw* menghadapi risiko kecelakaan yang tinggi karena kurangnya dukungan mekanis dalam memandu bahan yang dipotong. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sebuah *jig* yang dapat dipasang pada *miter saw* di Laboratorium P3 dengan tujuan utama untuk: meningkatkan presisi pemotongan, menurunkan risiko kecelakaan kerja, dan mengurangi pemborosan material. Dengan pengembangan *jig* ini, diharapkan dapat tercapai peningkatan kualitas dan efisiensi dalam proses pemotongan material di laboratorium tersebut.

Kata kunci: *Jig Miter saw*, Keamanan Kerja, Presisi Pemotongan

1. Pendahuluan

Alat *miter saw* di Laboratorium P3 (Perencanaan Perancangan Produk) telah menjadi elemen penting dalam proses pemotongan material *square hollow*. Namun, alat ini menghadapi beberapa kendala yang signifikan dalam hal presisi dan keamanan. Saat ini, *miter saw* digunakan tanpa penahan atau *jig*, yang mengakibatkan hasil pemotongan yang sering kali kurang akurat dan tidak konsisten. Ketidakakuratan ini tidak hanya menyebabkan pemborosan material tetapi juga meningkatkan frekuensi ulangan kerja, yang berdampak pada efisiensi operasional secara keseluruhan.

Selain masalah presisi, penggunaan *miter saw* tanpa dukungan mekanis yang memadai juga meningkatkan risiko kecelakaan kerja. Operator *miter saw* berada dalam kondisi yang rentan karena kurangnya alat bantu yang dapat memastikan bahan tetap stabil selama proses pemotongan. Risiko ini mencakup kemungkinan terjadinya cedera serius yang disebabkan oleh bahan yang bergerak atau tidak terkendali dengan baik saat dipotong. Oleh karena itu, analisis keselamatan kerja atau *Job Safety Analysis* (JSA) menjadi sangat penting dalam konteks ini untuk mengidentifikasi potensi bahaya dan mengembangkan langkah-langkah pencegahan yang tepat.

JSA (*Job Safety Analysis*) yaitu metode yang digunakan untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mengendalikan risiko dalam aktivitas pekerjaan industri (Indriyant & Prastawa, 2024). Proses penilaian dengan JSA melibatkan pendataan semua potensi bahaya yang mungkin terjadi, lalu memberikan solusi pengendalian sesuai dengan standar keselamatan dan kesehatan kerja (K3) yang berlaku (Ikhsan, 2022). Dalam penggunaan *miter saw* di

Laboratorium P3 pada penelitian ini, JSA akan membantu dalam mengidentifikasi titik-titik kritis yang berpotensi menyebabkan kecelakaan serta mengembangkan prosedur kerja yang lebih aman. Implementasi JSA mencakup penilaian setiap langkah dalam proses pemotongan, dari persiapan hingga penyelesaian, untuk memastikan bahwa semua potensi bahaya telah diidentifikasi dan dikendalikan dengan tepat.

Selain menggunakan JSA, metode Pahl & Beitz juga akan diterapkan dalam penelitian ini untuk merancang *jig* yang efektif. Metode Pahl & Beitz yaitu metode yang memiliki manajemen pengorganisasian yang baik dalam mendesain suatu barang (Winata & Suryadi, 2020). Dengan menggabungkan metode JSA untuk keselamatan kerja dan metode Pahl & Beitz untuk perancangan produk, penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan *jig* yang tidak hanya meningkatkan presisi pemotongan tetapi juga menurunkan risiko kecelakaan kerja.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sebuah *jig* yang dapat dipasang pada *miter saw* di Laboratorium P3. *Jig* ini diharapkan mampu meningkatkan presisi pemotongan sehingga hasil yang lebih konsisten dan akurat dapat dicapai. Selain itu, *jig* ini juga dirancang untuk menurunkan risiko kecelakaan kerja dengan memberikan dukungan mekanis yang memadai, yang akan membantu dalam mengarahkan bahan dengan lebih aman selama proses pemotongan. Dengan demikian, penggunaan *jig* ini diharapkan dapat mengurangi pemborosan material dan meningkatkan efisiensi operasional di laboratorium.

Penelitian ini akan mengidentifikasi desain yang optimal untuk *jig*, menguji efektivitasnya dalam kondisi laboratorium, dan mengevaluasi dampaknya terhadap presisi pemotongan dan keselamatan kerja. Dengan adanya inovasi ini, diharapkan proses pemotongan di Laboratorium P3 dapat menjadi lebih aman dan efisien, serta sesuai dengan prinsip-prinsip JSA dan metode Pahl & Beitz yang bertujuan untuk menciptakan lingkungan kerja yang lebih aman dan produktif.

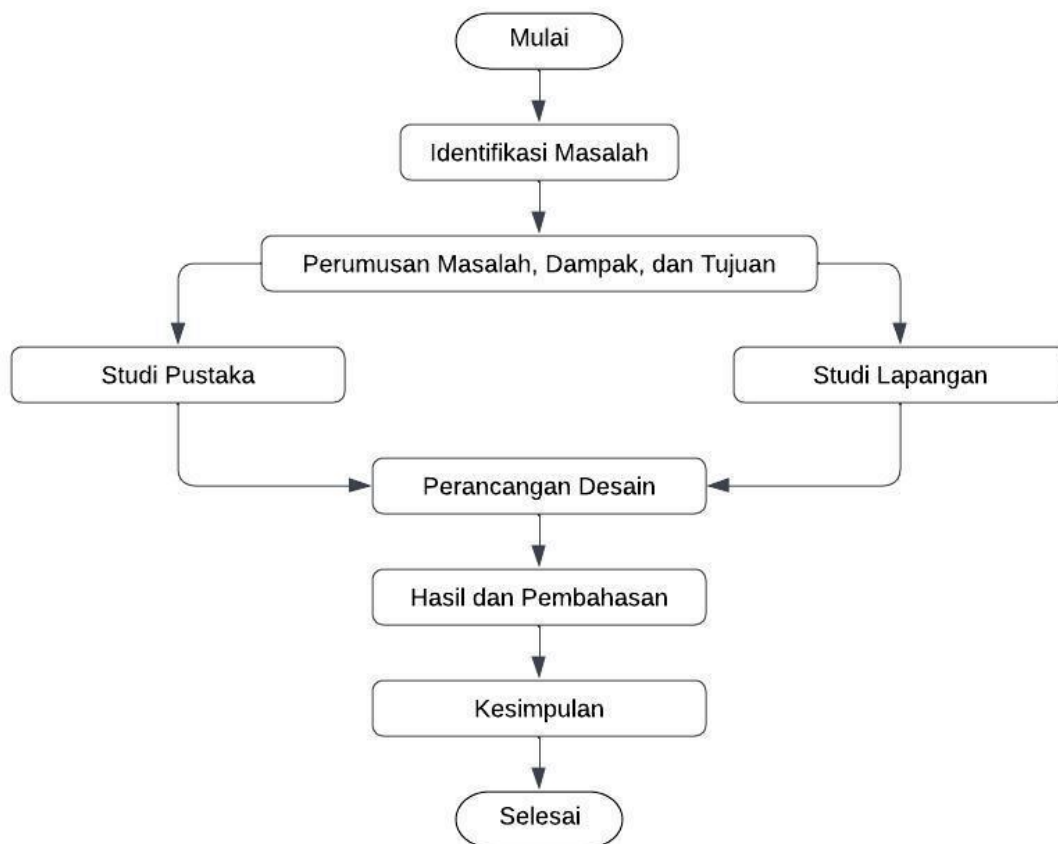
2. Metode

Penelitian ini mengadopsi metode Pahl & Beitz yang dikombinasikan dengan *Job Safety Analysis* (JSA) untuk merancang alat bantu *jig* yang tidak hanya efisien tetapi juga meminimalkan risiko kecelakaan kerja. Tahapan penelitian dimulai dengan 'Task Analysis', di mana pengumpulan informasi dilakukan untuk mengidentifikasi dan memahami permasalahan yang dihadapi dalam penggunaan *miter saw* di Laboratorium P3. Informasi diperoleh melalui observasi langsung dan wawancara dengan operator mesin, yang kemudian digunakan untuk mendefinisikan masalah presisi pemotongan dan risiko kecelakaan kerja. Dalam tahap ini, informasi terkait masalah yang dihadapi dan persyaratan produk dikumpulkan secara menyeluruh (Pahl & Beitz, 2013). Tahap berikutnya adalah '*Idea Generation*', yang melibatkan pengembangan berbagai konsep *jig* berdasarkan spesifikasi yang telah ditetapkan dari analisis masalah. Konsep-konsep yang dihasilkan dievaluasi untuk memilih yang terbaik, memenuhi kriteria efisiensi dan keamanan. Konsep terbaik yang dipilih kemudian dikembangkan lebih lanjut dalam tahap '*Embodiment Design*' dan '*Detailing*' di mana desain detail dari *jig* tersebut disusun, mencakup pembuatan gambar Teknik dan spesifikasi detail.

Guna memastikan keamanan dalam penggunaan alat bantu, metode Pahl & Beitz diintegrasikan dengan JSA sejak tahap awal perancangan. JSA merupakan proses sistematis yang meliputi identifikasi tugas, bahaya, penilaian risiko, dan pengendalian risiko. Pada tahap pertama, identifikasi tugas dilakukan untuk memahami seluruh proses pemotongan dengan *miter saw*, termasuk langkah-langkah kecil yang diambil oleh operator. Tahap kedua melibatkan penilaian risiko, di mana risiko dari masing-masing bahaya dinilai berdasarkan probabilitas kejadian dan dampaknya. Penilaian ini dilakukan secara sistematis untuk memastikan bahwa

setiap potensi bahaya telah diidentifikasi dengan tepat. Selanjutnya, pada tahap ketiga, langkah-langkah pengendalian risiko diimplementasikan. Langkah-langkah ini dirancang untuk mengurangi atau mengeliminasi risiko yang diidentifikasi pada tahap sebelumnya. Implementasi ini mencakup penggunaan alat pelindung diri (APD), pengaturan posisi kerja yang aman, dan penggunaan alat bantu tambahan yang dapat meningkatkan stabilitas dan keamanan proses pemotongan. Berdasarkan penilaian tersebut, langkah-langkah pengendalian risiko diimplementasikan untuk mengurangi atau mengeliminasi risiko yang diidentifikasi (Salsabillah, Hidayat, & Rizqi, 2023).

Implementasi integratif dari metode Pahl & Beitz dan JSA menghasilkan desain alat bantu yang tidak hanya efisien dan sesuai dengan kebutuhan pengguna, tetapi juga menjamin keamanan pengoperasiannya. Melalui pendekatan ini, risiko kecelakaan kerja dapat diminimalkan, menciptakan lingkungan kerja yang lebih aman dan produktif.



Gambar 1. Flowchart Perancangan Desain Jig untuk Penahan Alat Miter saw di Laboratorium P3

3. Hasil dan Pembahasan

Langkah-langkah berdasarkan metode Pahl & Beitz dalam penelitian ini meliputi keempat fase yang dikombinasikan dengan metode JSA pada identifikasi masalah. Berikut uraian dari setiap tahap perancangan.

3.1 Identifikasi Masalah

Tahap awal melibatkan perencanaan proyek dan penjelasan tugas berfokus pada pengumpulan informasi terkait masalah dan hambatan yang ada, serta memahami persyaratan yang harus dipenuhi oleh produk agar dapat menjadi solusi bagi masalah tersebut. Informasi ini dikumpulkan melalui observasi pada proses pemotongan benda kerja serta wawancara dengan beberapa operator mesin *miter saw*. Pada tahap ini, informasi

memiliki peran yang sangat penting dalam penyelesaian masalah. Sebagai langkah berikutnya, analisis masalah dapat dilakukan dengan menggunakan JSA karena setelah observasi ditemukan masalah pada mesin berkaitan dengan risiko keamanan kerja mesin. Proses JSA ini terstruktur melalui identifikasi sistematis setiap tugas untuk menjamin bahwa semua potensi risiko kerja diidentifikasi dan diminimalisir sebelum operasi pemotongan dimulai. Rincian lengkap dari analisis ini disajikan dalam Tabel JSA berikut.

Tabel 1. Identifikasi JSA

JOB SAFETY ANALYSIS	
Nama Pekerjaan: Memotong Square Hollow	Departemen: Stasiun Kerja Bangku
<p>APD: Keselamatan Kulit</p> <p>1. Kacamata</p> <p>2. Baju APD</p> <p>3. Sarung Tangan</p>	<p>Gambar :</p> 

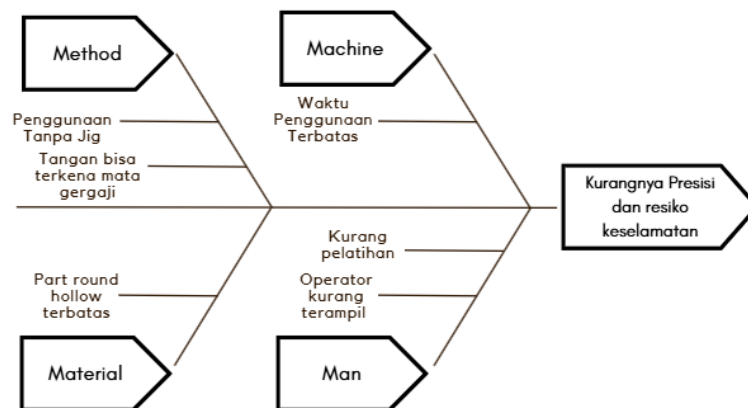
Tabel 2. Identifikasi JSA (lanjutan..)

No.	Tahap Pekerjaan	Potensi Bahaya	Upaya Pengendalian
1	<i>Set up mesin Miter Saw</i>	Tangan tergores bilah <i>miter saw</i>	Menggunakan APD Sarung Tangan dan melakukan <i>set up</i> dengan hati-hati
2	<i>Set up benda kerja pada Miter Saw</i>	Tangan tergores bilah <i>miter saw</i> saat mencocokkan bilah dengan <i>square hollow</i>	Menggunakan alat bantu pada mesin sehingga tidak perlu mencocokkan
3	Memotong besi <i>square hollow</i>	Tangan tergores akibat tangan digunakan sebagai penahan	Menggunakan alat bantu pada mesin <i>miter saw</i>

Dari *Job Safety Analysis* (JSA) diatas, telah teridentifikasi berbagai potensi bahaya yang mungkin terjadi selama penggunaan mesin *miter saw*. Hasil analisis menunjukkan bahwa keberadaan alat bantu pada mesin menjadi kontrol yang sangat kritikal untuk mengurangi risiko kecelakaan. Implementasi alat bantu ini dirancang untuk memberikan keamanan tambahan bagi operator, mengurangi potensi kontak langsung dengan komponen berbahaya, dan meningkatkan akurasi serta stabilitas dalam pemotongan.

Lebih lanjut, identifikasi penyebab masalah yang berhubungan dengan risiko keamanan ini dianalisis menggunakan diagram *fishbone*, yang memungkinkan pemetaan komprehensif terhadap faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi dan keamanan operasi. Melalui diagram ini, tim penelitian mampu mengevaluasi secara visual faktor-faktor seperti keterampilan operator, kondisi peralatan, metode operasional, dan bahan yang digunakan. Penggunaan diagram *fishbone* telah memfasilitasi pemahaman yang lebih dalam tentang interaksi antara berbagai elemen yang berkontribusi terhadap masalah keamanan dan presisi.

Diagram *fishbone* yang digunakan dalam analisis ini dilampirkan sebagai Gambar 2 dalam dokumen, yang memvisualisasikan hasil analisis dan mendukung pembahasan mengenai pengembangan produk usulan. Usulan desain alat bantu ini diharapkan dapat meminimalisir risiko yang diidentifikasi, sekaligus meningkatkan efisiensi kerja dalam pemotongan material menggunakan mesin *miter saw*.



Gambar 2. Fishbone Diagram

Pada Gambar 1 didapatkan bahwa masalah utama pada saat pemotongan square hollow, yang menyebabkan kurangnya presisi dan resiko keselamatan. Ada tiga faktor yang menyebabkan masalah ini. Faktor pertama adalah faktor manusia (*man*), yang disebabkan oleh operator kurang pelatihan dan operator kurang terampil dalam melakukan proses pemotongan. Faktor kedua adalah faktor mesin (*machine*), yang disebabkan oleh jumlah mesin yang terbatas hanya satu unit dan waktu penggunaan mesin yang terbatas. Faktor ketiga adalah faktor metode (*method*), yang disebabkan oleh proses pemotongan tidak memakai alat bantu *jig* sehingga saat pemotongan sangat berisiko terkena tangan dan kurangnya penjepit untuk menahan posisi *part* saat pemotongan yang berakibat hasil tidak optimal sehingga mengulangi proses tersebut yang akan menghabiskan *part square hollow*. Faktor keempat adalah faktor material, yang disebabkan *part square hollow* yang terbatas dikarenakan proses pemotongan yang diulang tanpa adanya penahan *jig*.

3.2 Perancangan Design

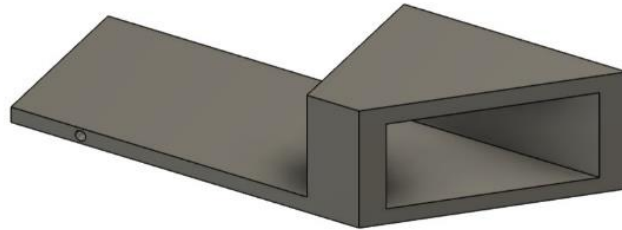
Berikut merupakan rancangan desain alat bantu untuk penahan alat *miter saw* di laboratorium P3. Desain rancangan *jig* ini memungkinkan untuk meningkatkan keamanan, akurasi pemotongan, serta efisiensi waktu yang digunakan operator untuk melakukan kegiatan pemotongan menggunakan mitter saw di laboratorium P3.

3.2.1 Spesifikasi Ukuran Tiap Part

Berikut merupakan spesifikasi dan ukuran masing-masing *part* dalam rancangan desain ukuran.

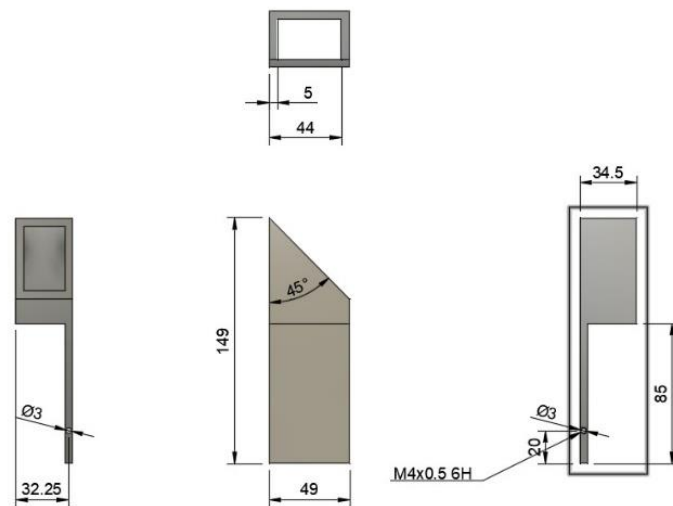
a. *Part* Bed Ragum

Berikut merupakan gambar *part* Bed Ragum pada desain rancangan.



Gambar 3 *Part* Bed Ragum

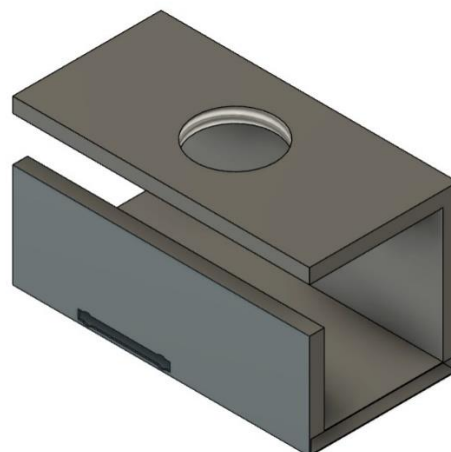
Berikut merupakan ukuran dan spesifikasi dari *part* Bed Ragum pada desain rancangan



Gambar 4 Ukuran dan Spesifikasi *Part* Bed Ragum

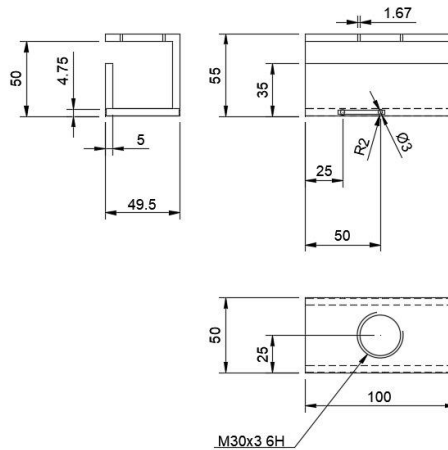
b. *Part* Badan Ragum

Berikut merupakan gambar dari *part* Badan Ragum pada desain rancangan.



Gambar 5 Part Badan Ragum

Berikut merupakan ukuran dan spesifikasi dari *part* Badan Ragum pada desain rancangan.



Gambar 6 Ukuran dan Spesifikasi Part Badan Ragum

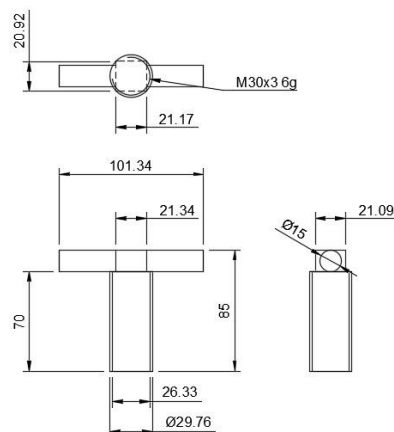
c. *Part* Pengunci Ragum

Berikut merupakan gambar *part* Pengunci Ragum pada desain rancangan.



Gambar 7 Part Pengunci Ragum

Berikut merupakan ukuran dan spesifikasi *part* Pengunci Ragum pada desain rancangan.



Gambar 8 Ukuran dan Spesifikasi Part Pengunci Ragum

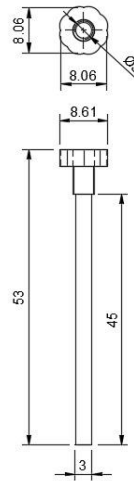
d. *Part* Sekrup Pengunci Bed

Berikut merupakan gambar *part* Sekrup Pengunci Bed pada desain rancangan.



Gambar 9 Part Sekrup Pengunci Bed

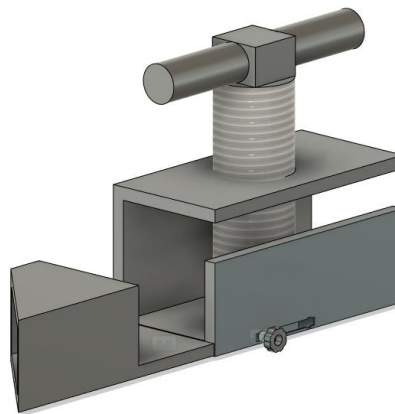
Berikut merupakan ukuran dan spesifikasi *part* Sekrup Pengunci Bed pada desain rancangan.



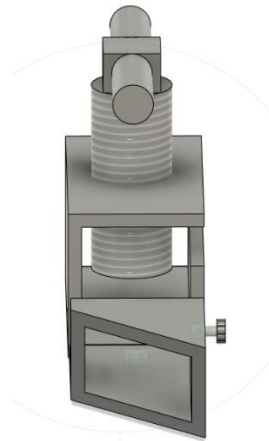
Gambar 10 Ukuran dan Spesifikasi Part Sekrup Pengunci Bed

3.2.2 Desain Final

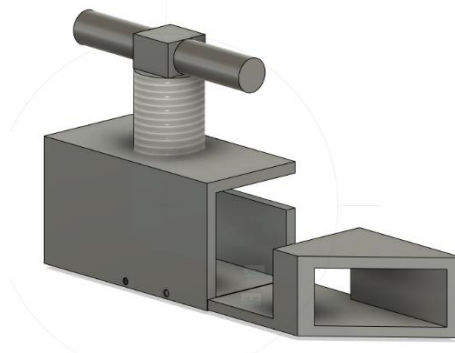
Berikut merupakan desain *final assembly jig* yang dirancang untuk alat bantu penahan *mitter saw* laboratorium P3.



Gambar 11. Tampak Depan



Gambar 12. Tampak Samping



Gambar 13. Tampak Belakang

Gambar di atas merupakan desain usulan alat bantu untuk penahan pada proses pemotongan benda kerja menggunakan *miter saw* di laboratorium P3. Alat bantu tersebut dirancang untuk pemotongan 0° dan 45° , serta memiliki desain yang *adjustable* sehingga operator dapat melakukan kegiatan dengan lebih cepat dan efisien. Hasil pemotongan benda kerja dengan menggunakan alat bantu tersebut dapat lebih presisi karena desain yang dirancang memiliki ukuran yang tetap saat digunakan untuk pemotongan 0° dan 45° .

4. Simpulan

Penelitian ini berhasil mengidentifikasi dan mengatasi masalah presisi dan keamanan dalam penggunaan alat *miter saw* di Laboratorium P3. Dengan tidak adanya penahan atau *jig*, hasil pemotongan sering tidak akurat dan meningkatkan risiko kecelakaan kerja. Melalui desain dan pengembangan *jig* menggunakan metode Pahl & Beitz yang dikombinasikan dengan *Job Safety Analysis* (JSA), *jig* yang dirancang meningkatkan presisi pemotongan, mengurangi risiko kecelakaan, dan mengurangi pemborosan material. Implementasi *jig* ini diharapkan dapat meningkatkan kualitas dan efisiensi operasional, serta menciptakan lingkungan kerja yang lebih aman dan produktif sesuai dengan prinsip keselamatan kerja dan desain yang baik.

Daftar Pustaka

- Fyona, A., Hakim, R., & Afriandi. (2019). Desain *Jig* & Fixture untuk Break Shoes Sepeda Angin. *Jurnal Teknologi dan Riset Terapan*, 38-42.
- Ikhsan, M. Z. (2022). Identifikasi Bahaya, Risiko Kecelakaan Kerja Dan Usulan Perbaikan Menggunakan Metode Job Safety Analysis (Jsa) (Studi Kasus: PT. Tamora Agro Lestari). *Jurnal Teknologi dan Manajemen Industri Terapan*, 42-52.

- Indriyant, L., & Prastawa, H. (2024). Analisis Risiko Kerja Menggunakan *Job Safety Analysis* (JSA) dengan Pendekatan Hazard Identification, Risk Assessment, Risk Control (HIRARC) pada Bagian Converting PT Jawasurya Kencana Indah. *Industrial Engineering Online Journal*, 13(1).
- Pahl, G., & Beitz, W. (2013). *Engineering Design: A Systematic Approach*. Springer-Verlag London.
- Salsabillah, I. P., Hidayat, & Rizqi, A. W. (2023). Analisis Risiko Dan Upaya Pengendalian K3 Di Area Workshop Bagian Pengelasan Pada Garasi Angkutan Luar Pt. Xyz Dengan Metode Job Safety Analys (JSA). *JUSTI (Jurnal Sistem Dan Teknik Industri)*, 174-179.
- Winata, E. K., & Suryadi, A. (2020). Perancangan Kursi Tunggu yang Ergonomis untuk Lansia dengan Metode Pahl dnd Beitz pada Klinik Xyz Sidoarjo. *Juminten : Jurnal Manajemen Industri dan Teknologi*, 61-72.

Analisis Pengaruh Kebisingan Proses Produksi Tiang Pancang Terhadap Produktivitas Pekerja Pada *Plant/Jalur 4* PT Wijaya Karya Beton Tbk. Pabrik Produk Beton Boyolali

Dicky Pamungkas¹⁾, Rahmadiyah Dwi Astuti²⁾

^{1, 2)} Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Jalan Ir. Sutami 36A
Surakarta, Jawa Tengah 57126, Indonesia

Email: pamun9kas_d@student.uns.ac.id , rahmaniyahdwi@staff.uns.ac.id

ABSTRAK

Kebisingan adalah komponen bahaya fisik umum di tempat kerja yang dapat menyebabkan gangguan pendengaran dan berdampak negatif pada produktivitas. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari bagaimana tingkat kebisingan mempengaruhi produktivitas karyawan di PT. Wijaya Karya Beton Tbk. PPB Boyolali. Dengan menggunakan metode wawancara, observasi, dan studi literatur, data dianalisis menggunakan SPSS 26. Hasil penelitian menunjukkan intensitas kebisingan rata-rata 87.96 dB (A), dengan korelasi negatif antara kebisingan dan produktivitas. Semakin tinggi tingkat kebisingan, semakin rendah produktivitas karyawan. Untuk mengatasi hal ini, perusahaan disarankan menggunakan pendekatan holistik melalui hierarki pengendalian bahaya, seperti eliminasi, substitusi, kontrol teknik, kontrol administratif, dan penggunaan APD. Penelitian ini menyimpulkan bahwa pengendalian kebisingan yang efektif sangat penting untuk meningkatkan produktivitas dan kesejahteraan karyawan.

Kata kunci: Kebisingan, Produktivitas, Proses Produksi, *Sound Level Meter*

1. Pendahuluan

PT Wijaya Karya Beton Tbk. Pabrik Produk Beton Boyolali adalah faktor anak perusahaan bagi kelompok perusahaan PT Wijaya Karya (Persero) Tbk yang fokus untuk produksi beton dan *precast*. Berdiri di kawasan Boyolali, Jawa Tengah. Perusahaan ini memiliki peran penting dalam mendukung pembangunan infrastruktur di Indonesia, khususnya dalam penyediaan material konstruksi berkualitas tinggi. Beberapa contoh produk yang dihasilkan antara lain, balok jembatan, tiang beton, tiang pancang bulat, tiang listrik, bantalan jalan rel, *L-shape*, *sheet pile*, *slab on pile*, dan *hexagonal*. PT Wijaya Karya Beton Tbk. Pabrik Produk Beton Boyolali terus berkembang seiring dengan pertumbuhan industri konstruksi di Indonesia. Dengan komitmen pada keberlanjutan, kualitas, dan kepuasan pelanggan, WIKA Beton berperan penting dalam mendukung proyek-proyek infrastruktur yang membangun masa depan Indonesia secara berkelanjutan.

Namun, di tengah pencapaian mereka dalam proyek-proyek besar dan produk yang berkualitas. Perhatian terhadap dampak lingkungan kerja, terutama Kebisingan yang dihasilkan selama proses produksi menjadi semakin relevan. Mesin dan peralatan berat sering digunakan dalam proses produksi konstruksi, termasuk produksi elemen beton dan pracetak. Kebisingan yang dihasilkan oleh aktivitas ini dapat berdampak serius terhadap kesehatan dan produktivitas pekerja yang terlibat dalam proses tersebut. Kebisingan bias berarti sebagai suara tidak diinginkan yang sumbernya pada kegiatan alam seperti bicara serta kegiatan hasil manusia misalnya pemakaian mesin (Marisdayana *et al.*, 2016). Menurut *World Health Organization* (WHO), Kebisingan juga artinya sebagai suara apa saja yang sudah tidak dibutuhkan serta mempunyai dampak yang buruk untuk kadar hidup, kesehatan, juga kesejahteraan. Djalante (2010) memberi jika polusi udara maupun Kebisingan bisa diartikan bagai suara yang tidak berkemauan serta menggoda manusia. Oleh karena itu, memahami secara menyeluruh bagaimana Kebisingan memengaruhi kesehatan pekerja sangat penting untuk menjaga lingkungan kerja yang aman dan produktif. PT Wijaya Karya Beton Tbk. PPB Boyolali, adalah sebagian perusahaan konstruksi utama yang mulai memperhatikan dampak Kebisingan terhadap pekerja. Perusahaan sangat berkomitmen terhadap keberlanjutan dan kesejahteraan

karyawannya dengan mengembangkan solusi dan strategi untuk mengurangi Kebisingan selama proses produksi.

Kebisingan ialah sebuah faktor bahaya fisik yang sering ditemui di tempat kerja. Kebisingan ialah seluruh suara maupun bunyi yang tidak diinginkan yang bisa mengusik kesehatan juga keselamatan (Anizar, 2009). Kepmen LH No 48. tahun 1996 juga dijelaskan jika Kebisingan adalah suara yang tidak diharapkan untuk sebuah upaya maupun pada tingkat serta waktu tertentu yang bisa membuat bencana kesehatan manusia juga kenyamanan lingkungan. Terpajan kebisingan yang terlalu lama atau berlebihan dapat mengganggu pendengaran dan mempengaruhi jantung dan anggota tubuh lainnya. Pada umumnya, karyawan yang terlalu lama terpapar suara tidak dapat disembuhkan. Karyawan ialah aset penting perusahaan dan merupakan bagian penting dari proses produksi. Karena itu, karyawan harus dipertahankan, dilatih, dan dikembangkan untuk meningkatkan tingkat produktivitas mereka. Di samping itu, kebisingan menghasilkan beragam gangguan psikologis, gangguan komunikasi, dan gangguan pendengaran. Oleh karena itu, diperlukan adanya pengukuran kebisingan pada tempat kerja agar menyadari apakah bunyi yang dikeluarkan melebihi ambang batas yang telah ditentukan dan bahaya yang diakibatkan oleh kebisingan tersebut.

2. Metode

Penelitian ini diawali dengan melakukan studi lapangan meliputi wawancara dan observasi langsung di *plant*/jalur 4 untuk mengenali alur produksi dan mengukur kebisingan secara langsung dari awal hingga akhir proses produksi dan selanjutnya melakukan studi literatur, studi untuk mencari informasi sebagai landasan teori dalam memecahkan masalah. Tahap selanjutnya dilakukan identifikasi dan perumusan masalah dan mengumpulkan data agar memperoleh informasi yang sebanding dengan analisis yang dilaksanakan. Data yang dikumpulkan berupa data pengukuran kebisingan, data hasil produksi, dan data kuesioner mengenai kebisingan dan produktivitas. Peneliti melakukan penyebaran kuesioner terhadap jumlah sampel 10 orang operator *plant*/jalur 4 untuk mengisi kuesioner.

Sesudah data-data yang dibutuhkan pada analisis yang sudah terkumpul, langkah selanjutnya ialah mengolah data yang dimulai dari mengukur kebisingan menggunakan alat mengukur kebisingan yang disebut *Sound Level Meter* (SLM) dilakukan dengan 6x percobaan setiap 1 jam percobaan selama proses produksi pada *shift* 1 (08.00-17.00). Selanjutnya melakukan pendataan hasil produksi di *plant*/jalur 4, penentuan jumlah sampel dengan menggunakan rumus Slovin hingga rekapitulasi hasil kuesioner menggunakan program statistik SPSS versi 26. Tahap akhir dari penelitian ini ialah analisis dan interpretasi hasil menggunakan *software* SPSS sehingga didapatkan kesimpulan dan saran dari penelitian.

3. Hasil dan Pembahasan

a. Gambaran Umum Proses Produksi di *Plant*/Jalur 4

Berikut ini adalah gambaran kegiatan yang dilakukan pada *plant*/jalur 4 proses pembuatan tiang pancang di PT Wijaya Karya Beton Tbk. Pabrik Produk Beton Boyolali. Jalur ini khusus memproduksi produk beton yaitu tiang pancang, Proses produksi pada jalur ini meliputi proses penulangan, proses pengecoran, proses *tensioning*, proses *spinning*, proses perawatan beton, proses pembukaan cetakan, dan proses penyimpanan beton.

b. Pengukuran Kebisingan

Pengukuran kebisingan dilakukan dengan menggunakan alat pengukur tingkat kebisingan suara, yaitu *Sound Level Meter* (SLM), alat ini berfungsi untuk mengukur intensitas suara di lingkungan tertentu selama periode waktu yang ditentukan. Berikut merupakan hasil dari

pengukuran kebisingan pada *plant*/jalur 4 PT Wijaya Karya Beton Pabrik Produk Beton Boyolali.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Kebisingan

JAM	PENGUKURAN (dB (A))						\bar{x}
	1	2	3	4	5	6	
08.00-09.00	84.3	97.1	81.7	91.6	83.5	90.5	88.12
09.00-10.00	89.7	78.6	94.4	83.3	86.1	98.1	88.37
10.00-11.00	78.5	95.9	79.7	101.7	84.9	88.3	88.17
11.00-12.00	96.4	86.3	88.2	96.7	85.2	80.5	88.88
13.00-14.00	76.7	101.4	84.2	92.6	80.5	90.9	87.72
14.00-15.00	81.1	93.4	79.1	96.8	85.3	89.9	87.60
15.00-16.00	78.5	94.1	88.2	79.5	95.8	88.3	87.40
16.00-17.00	93.7	80.1	101.5	75.1	90.5	80.1	86.83

Berdasarkan hasil pengukuran Kebisingan selama 6 percobaan dalam 1 jam dengan durasi 10 menit setiap percobaan di area pengerjaan tiang pancang PT Wijaya Karya Beton Tbk. Pabrik Produk Beton Boyolali, dapat disimpulkan bahwa lingkungan kerja tersebut memiliki tingkat Kebisingan yang bervariasi. Kebisingan untuk waktu 08.00-09.00 ialah sebesar 88,12 dB (A), pukul 09.00-10.00 sebesar 88,37 dB (A), 10.00-11.00 sebesar 88.17 dB (A), pukul 11.00-12.00 sebesar 88,88 dB (A), pukul 13.00-14.00 sebesar 87,72 dB (A), pukul 14.00-15.00 sebesar 87,60 dB (A), pukul 15.00-16.00 sebesar 87,40 dB (A), dan pukul 16.00-17.00 sebesar 86,83 dB (A). Sumber Kebisingan utama berasal dari mesin *spinning*, mesin bor *impact*, dan mesin *hoper*. Tanggat waktu maksimal secara aman dan kontinu setara standar Permenaker No. 5 Tahun 2018 tertera pada tabel hasil, didapatkan hasil intensitas Kebisingan pada *plant*/jalur 4 tersebut melebihi NAB Kebisingan sebesar 85 dB (A) selama 8 jam per hari, maka dari itu stasiun berikut diurutkan sebagai daerah dengan tingkat Kebisingan tinggi dan tidak aman bagi pendengaran pekerja jika tidak menggunakan alat pelindung telinga yang layak.

c. Pendataan Hasil Produksi

Proses produksi tiang pancang pada *plant* 4 dimulai dengan *briefing* oleh kepala jalur untuk mengkoordinasi mengenai rencana produksi, jenis tiang pancang yang akan di produksi, dan target produksi pada *shift* tersebut. Proses dilanjutkan dengan pemeriksaan peralatan dan mesin produksi alat oleh staf peralatan, setelah semua dipastikan aman, proses produksi dimulai pukul 08.00 WIB pendataan produksi berlanjut sepanjang hari, dengan tim produksi dan kepala jalur bekerja sama untuk memastikan bahwa semua data dicatat dengan tepat. Pada akhir *shift*, kepala jalur membuat laporan produksi harian yang mencakup *type* tiang pancang, jumlah produksi, dan target produksi.

Tabel 2. Rekap Hasil Produk

No	Waktu Produksi	Type	Jumlah Produksi	Target
1	08.00-09.00	50 A1 B10 7B	3	5
2	09.00-10.00	9 200 E	2	5
3	10.00-11.00	14 350 E	3	5
4	11.00-12.00	53 A1 B10 7B	2	5
5	13.00-14.00	54 A1 B10 7B	3	5
6	14.00-15.00	12 350 E	3	5
7	15.00-16.00	56 A1 U10 7B	3	5
8	16.00-17.00	57 A1 B10 7B	4	5

Pada tabel 2 di atas merupakan contoh laporan produksi tiang pancang pada *plant*/jalur 4 pada periode bulan Februari, tepatnya pada Kamis, 1 Februari 2024. Laporan produksi tersebut terdapat beberapa elemen yang akan diisikan oleh kepala jalur untuk diserahkan kepada staf administrasi produksi di akhir *shift*, elemen tersebut antara lain, jalur, *line*, tanggal produksi, shift, *type* tiang pancang, jumlah produksi, dan target produksi.

Berdasarkan tabel di atas, tampak jelas bahwa target/rencana produksi yang telah ditetapkan oleh perusahaan tidak tercapai. Hal ini dapat dilihat dari indikator utama, yaitu jumlah *output* aktual yang lebih rendah dari target, setelah dilakukan observasi dan pengamatan secara langsung ada beberapa faktor yang mempengaruhi tidak tercapainya target produksi harian ini, antara lain, keterlambatan kedatangan material bahan baku, peralatan dan mesin produksi yang sering dilakukan *maintenance* saat produksi berlangsung, kondisi lingkungan yang bising, dan ketidakseimbangan tenaga kerja (kekurangan jumlah operator pada stasiun penulangan).

d. Analisis Rekap Kuesioner Kebisingan dan Produktivitas

Dalam pengisian kuesioner terbagi 2 tahap yaitu tahap kuesioner kebisingan dan tahap kuesioner produktivitas. Berikut hasil rekap kuesioner kebisingan dan produktivitas pada *plant*/jalur 4 PT Wijaya Karya Beton Pabrik Produk Beton Boyolali.

Tabel 3. Hasil Rekap Kuesioner Operator

No	Karakteristik Responden		Jumlah (Orang)
1	Jenis Kelamin	Laki-Laki	10
		Perempuan	-
2	Usia	<20 Tahun	-
		30 Tahun	-
		>30 Tahun	10
3	Lama Bekerja	>10 Tahun	2
		8 Tahun	4
		7 Tahun	3
		6 Tahun	1

Karakteristik responden terbagi dalam beberapa atribut, antara lain jenis kelamin, lama bekerja, dan umur. Terdapat 10 orang responden berjenis kelamin laki-laki dan mayoritas berumur >30 tahun, untuk lama bekerja cukup bervariasi, terdapat 2 responden memiliki *range* lama bekerja 10-15 tahun, 4 responden 8 tahun, 3 responden 7 tahun, dan 1 responden 6 tahun.

e. Analisis Pengolahan Data

Dalam pengolahan data kuesioner kebisingan menggunakan *software* SPSS didapatkan hasil dari uji validitas X1, X2, X3, X4, dan X5 berturut-turut adalah 0,961; 0,961; 0,899; 0,925; dan 0,844 dapat disimpulkan dari uji validitas yang telah dilakukan kepada 10 sampel menunjukkan bahwa untuk variabel Kebisingan (X) dengan jumlah pertanyaan 5 butir pertanyaan diketahui bahwa bernilai positif karena memiliki r hitung > r tabel (0,549). Dalam pengolahan data kuesioner produktivitas menggunakan *software* SPSS didapatkan hasil dari uji validitas Y1, Y2, Y3, Y4, dan Y5 berturut-turut adalah 0,788; 0,852; 0,767; 0,680; dan 0,777 dapat disimpulkan dari uji validitas yang telah dilakukan kepada 10 sampel menunjukkan bahwa untuk variabel Produktivitas (Y) dengan jumlah pertanyaan 5 butir pertanyaan diketahui bahwa bernilai positif karena memiliki r hitung > r tabel (0,549).

Tabel 4. Uji Validitas Variabel Kebisingan (X) dan Produktivitas (Y)

Correlations							
		X1	X2	X3	X4	X5	X
X1	Pearson Correlation	1	1.000**	.791**	.836**	.836**	.961**
	Sig. (2-tailed)		.000	.006	.003	.003	<.001
	N	10	10	10	10	10	10
X2	Pearson Correlation	1.000**	1	.791**	.836**	.836**	.961**
	Sig. (2-tailed)	.000		.006	.003	.003	<.001
	N	10	10	10	10	10	10
X3	Pearson Correlation	.791**	.791**	1	.881**	.587	.898**
	Sig. (2-tailed)	.006	.006		<.001	.074	<.001
	N	10	10	10	10	10	10
X4	Pearson Correlation	.836**	.836**	.881**	1	.655*	.925**
	Sig. (2-tailed)	.003	.003	<.001		.040	<.001
	N	10	10	10	10	10	10
X5	Pearson Correlation	.836**	.836**	.587	.655*	1	.844**
	Sig. (2-tailed)	.003	.003	.074	.040		.002
	N	10	10	10	10	10	10
X	Pearson Correlation	.961**	.961**	.898**	.925**	.844**	1
	Sig. (2-tailed)	<.001	<.001	<.001	<.001	.002	
	N	10	10	10	10	10	10

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).
* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Correlations							
		Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y
Y1	Pearson Correlation	1	.554	.312	.357	.442	.788**
	Sig. (2-tailed)		.097	.380	.311	.201	.007
	N	10	10	10	10	10	10
Y2	Pearson Correlation	.554	1	.530	.429	.667*	.852**
	Sig. (2-tailed)	.097		.115	.217	.035	.002
	N	10	10	10	10	10	10
Y3	Pearson Correlation	.312	.530	1	.055	.509	.767
	Sig. (2-tailed)	.380	.115		.881	.133	.087
	N	10	10	10	10	10	10
Y4	Pearson Correlation	.357	.429	.055	1	.375	.680*
	Sig. (2-tailed)	.311	.217	.881		.286	.042
	N	10	10	10	10	10	10
Y5	Pearson Correlation	.442	.667*	.509	.375	1	.777**
	Sig. (2-tailed)	.201	.035	.133	.286		.008
	N	10	10	10	10	10	10
Y	Pearson Correlation	.788**	.852**	.567	.650*	.777**	1
	Sig. (2-tailed)	.007	.002	.087	.042	.008	
	N	10	10	10	10	10	10

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).
* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Setelah dilakukan pengolahan uji reliabilitas pada kuesioner kebisingan (X), menunjukkan *Cronbachs Alpha* sebesar 0,940 di mana angka ini menunjukkan bahwa $\alpha > 0,9$ dalam kondisi bagus sekali dan butiran pertanyaan dalam penelitian ini sudah reliabel. Sedangkan, untuk pengolahan kuesioner produktivitas (Y), *Cronbachs Alpha* sebesar 0,764 di mana angka ini menunjukkan angka $\alpha > 0,5$ dalam kategori kondisi bagus dan butiran pertanyaan dalam penelitian ini sudah reliabel.

Tabel 5. Uji Reliabilitas Variabel Kebisingan (X) Variabel Produktivitas (Y)

Reliability Statistics		Reliability Statistics	
Cronbach's Alpha	N of Items	Cronbach's Alpha	N of Items
.940	5	.764	5

Tabel 6. Variables Entered

Variables Entered/Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Kebisingan ^b	.	Enter

a. Dependent Variable: Produktivitas

b. All requested variables entered.

Pada Tabel *Variables Entered* di atas menjelaskan tentang variabel yang dimasukkan serta metode yang digunakan. Dalam hal ini variabel yang dimasukkan adalah variabel kebisingan sebagai variabel *independent* dan produktivitas sebagai variabel *dependent* dan metode yang digunakan adalah metode *enter*. Kemudian pada tabel *Model Summary* menjelaskan besarnya nilai korelasi/hubungan (R) yaitu sebesar 0,645. Dari *output* tersebut diperoleh koefisien determinasi (R square) sebesar 0,356, yang mengandung pengertian bahwa pengaruh variabel *independent* (Kebisingan) terhadap variabel *dependent* (Produktivitas) adalah sebesar 35,6%.

Tabel 7. Nilai Korelasi

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.645 ^a	.356	.343	2.235

a. Predictors: (Constant), Kebisingan

Tabel 8. ANOVA

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	28.434	1	28.434	5.692	.004 ^b
	Residual	39.966	8	4.996		
	Total	68.400	9			

a. Dependent Variable: Produktivitas

b. Predictors: (Constant), Kebisingan

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	35.775	6.400		5.590	<.001
	Kebisingan	-.737	.309	-.645	-2.386	.044

a. Dependent Variable: Produktivitas

Hasil ANOVA menunjukkan bahwa model regresi secara keseluruhan signifikan (F hitung = 5,692, p = 0,004), memvalidasi kecocokan model untuk digunakan dalam memprediksi produktivitas berdasarkan tingkat kebisingan. Persamaan regresi yang diperoleh ialah $Y = 35,775 - 0,737X$, di mana 35,775 merupakan nilai konstanta (A), yang mewakili perkiraan rata-rata produktivitas ketika kebisingan (X) sama dengan nol. Koefisien regresi (-0,737) menunjukkan bahwa setiap peningkatan satu unit dalam kebisingan akan menyebabkan penurunan sebesar 0,737 unit dalam produktivitas. Interpretasi persamaan regresi menunjukkan adanya hubungan negatif antara kebisingan dan produktivitas: semakin tinggi tingkat kebisingan, semakin rendah produktivitas yang dapat diharapkan. Ini menyarankan perlunya pengelolaan kebisingan yang efektif di lingkungan kerja untuk meningkatkan produktivitas karyawan.

Berdasarkan hasil rekap kuesioner Kebisingan, observasi, dan pengamatan langsung didapatkan hasil Kebisingan di lingkungan kerja memiliki dampak signifikan pada kemampuan komunikasi dan interaksi antar rekan kerja. Tingkat Kebisingan yang tinggi menyebabkan kesulitan dalam berkomunikasi, memaksa untuk sering meminta pengulangan kata-kata dan bahkan mendorong penggunaan isyarat sebagai alternatif. Selain itu, kondisi ini juga menuntut penyesuaian dalam gaya berbicara, di mana pekerja harus mengeraskan suara untuk dapat terdengar dengan jelas. Dengan adanya hambatan ini, produktivitas dan kualitas komunikasi di tempat kerja dapat terpengaruh secara negatif. Sejalan bersama penelitian yang dilaksanakan oleh Cahyawati *et al.*, (2021) jika adanya pengaruh Kebisingan pada tingkat konsentrasi kerja pada tenaga kerja, sehingga bisa mempengaruhi produktivitas kerja. Berdasarkan rekap hasil

kuesioner produktivitas, Kebisingan memengaruhi berbagai aspek seperti kedisiplinan pekerja dalam menyelesaikan pekerjaan, tingkat konsentrasi pekerja, kualitas hasil produksi, kuantitas hasil produksi, dan kepuasan pekerja terhadap pekerjaan yang telah dilakukan. Tingkat Kebisingan yang tinggi dapat menjadi sumber gangguan yang menghambat konsentrasi dan efisiensi pekerja, sehingga menyebabkan keterlambatan dalam mencapai tujuan pekerjaan (Buchari, 2007). Oleh karena itu, upaya untuk mengelola dan mengurangi Kebisingan di tempat kerja tidak hanya dapat meningkatkan produktivitas tetapi juga menciptakan suasana kerja yang lebih kondusif untuk pertumbuhan profesional dan kolaborasi yang efektif.

4. Simpulan

Kesimpulan dari penelitian adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan pengukuran tingkat kebisingan pada proses produksi tiang pancang di *plant*/jalur 4 PT Wijaya Karya Beton Tbk. Pabrik Produk Beton Boyolali, dapat disimpulkan bahwa lingkungan produksi ini menunjukkan menunjukkan variasi antara 86.83 dB (A) hingga 88.88 dB (A), dengan rata-rata intensitas sekitar 87.96 dB (A). Kebisingan tertinggi terjadi pada pukul 11.00-12.00 WIB, tingkat kebisingan yang cukup tinggi dapat berpotensi memberikan dampak negatif terhadap kesehatan dan kinerja pekerja, serta mempengaruhi produktivitas secara keseluruhan.
2. Berdasarkan analisis pengaruh kebisingan terhadap produktivitas pekerja di *plant*/jalur 4 PT Wijaya Karya Beton Tbk. Pabrik Produk Beton Boyolali menunjukkan variasi tingkat kebisingan antar percobaan, dengan rata-rata intensitas sekitar 87.96 dB (A). Hal ini juga dibuktikan dengan nilai koefisien regresi (-0,737) yang menunjukkan bahwa semakin tinggi tingkat kebisingan, semakin rendah produktivitas yang dihasilkan. Secara sederhana, ketika tingkat kebisingan 0 maka produktivitas rata-rata adalah 35,775. Namun, ketika tingkat kebisingan meningkat produktivitas akan menurun.
3. Dalam rangka mengatasi kebisingan dalam proses produksi tiang pancang di PT. Wijaya Karya Beton Tbk. PPB Boyolali, perusahaan dapat menerapkan pendekatan holistik dengan menggunakan hierarki pengendalian bahaya. Substitusi teknologi dan isolasi peralatan akan mengurangi sumber kebisingan, sementara pengaturan administratif seperti jadwal kerja dan rotasi pekerjaan memberikan fleksibilitas dalam mengelola paparan individu terhadap kebisingan. Penggunaan alat pelindung diri seperti *earplug* atau *earmuff* menjadi langkah terakhir. Monitoring, evaluasi, dan perbaikan berkelanjutan melibatkan pemantauan secara rutin dan penyesuaian strategi untuk memastikan efektivitas pengendalian kebisingan dalam jangka panjang, menciptakan lingkungan kerja yang aman, produktif, dan berkelanjutan.

Daftar Pustaka

- A, F. M., B, T. K., C, D. A., & E, L. M. (2019). A simple method to estimate noise levels in the workplace based on self-reported speech communication effort in noise. *International Journal of Audiology*, 0(0), 1–4. <https://doi.org/10.1080/14992027.2019.1600203>
- Anizar. (2009). *Teknik keselamatan dan kesehatan kerja di industri*. Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Buchari. (2007). *Kebisingan Industri dan Hearing Conservation Program*. USU Repository, Medan.
- Cahyawati, S., Latuamury, M. Y., Fani, R., & Rumbia, F. (2021). Pengaruh Kebisingan Terhadap Produktivitas Kerja Di Mebel Gemba Kecamatan Kairatu Kabupaten Seram Bagian Barat Tahun 2020. *Global Health Science*, 6(1), 14-18.
- Djalante, S. (2010). Analisis Tingkat Kebisingan Di Jalan Raya Yang Menggunakan Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas (APIL) (Studi Kasus: Simpang Ade Swalayan). *Jurnal SMARTek*, 8 (4), 280 – 300

- Gjestland, T. (2024). Measuring Community Response to Noise — Factors Affecting the Results of Annoyance Surveys †.
- Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No.48 Tahun 1996. Tentang Baku Mutu Tingkat Kebisingan.
- Picou, E. M., Gordon, J., & Ricketts, T. A. (2016). The Effects of Noise and Reverberation on Listening Effort in Adults With Normal Hearing. 1–13.
- Marisdayana, R., Suhartono, Nurjazuli. 2016. Hubungan Intensitas Paparan Bising dan Masa Kerja Dengan Gangguan Pendengaran Pada Karyawan PT. X. Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia, 15 (1) : 22 – 2
- Peraturan Menteri Ketenagakerjaan Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2018. (2018). Tentang Keselamatan Dan Kesehatan Kerja Lingkungan Kerja. Peraturan Menteri Ketenagakerjaan Republik Indonesia No. 5 Tahun 2018, 5, 11.
- Tuomainen, O., Hazan, V., Taschenberger, L., & Sciences, P. (n.d.). SPEECH COMMUNICATION IN BACKGROUND NOISE : EFFECTS OF AGING. c. WHO.(2001). Occupational and community noise. Fact Sheet no. 258 Revised February 2001

Analisis Ergonomi dan Redesign Halte Bus Trans Jogja dengan Metode RULA dan Antropometri

Lulu Riesta Nugroho¹⁾, Ridho Muzaik Ramadhan²⁾, Zahara Intan Wigathie³⁾, Felix Rasyada Raffi⁴⁾, Amarria Dila Sari⁵⁾, Ratih Dianingtyas Kurnia⁶⁾

^{1,2,3,4,5,6)} Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia, Jalan Kaliurang 14.5, Sleman, Yogyakarta 55584, Indonesia

Email: 21522001@students.uii.ac.id, 21522098@students.uii.ac.id, 22522300@students.uii.ac.id, 22522038@students.uii.ac.id, amarria@uui.ac.id, rd.kurnia@uui.ac.id

ABSTRAK

Kota Yogyakarta dikenal sebagai destinasi wisata yang menarik banyak wisatawan lokal dan mancanegara, yang memanfaatkan berbagai fasilitas publik. Halte bus idealnya harus memiliki fasilitas yang memadai untuk memberikan kemudahan dan kenyamanan bagi penggunanya. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi tingkat risiko gangguan muskuloskeletal (MSDs) pada pengguna halte Trans Jogja saat duduk di kursi halte. Metode *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA) digunakan untuk menganalisis postur kerja dan menentukan tingkat risiko serta kategori tindakan berdasarkan skor yang diperoleh. Berdasarkan hasil analisis RULA, redesign kursi halte dilakukan menggunakan metode antropometri. Langkah-langkah yang diambil meliputi uji normalitas pada setiap dimensi tubuh dan perhitungan persentil sebagai dasar ukuran desain kursi. Hasil analisis menunjukkan bahwa diperlukan investigasi lebih lanjut dan perubahan desain. Oleh karena itu, peneliti memberikan rekomendasi dan melakukan redesign kursi halte berdasarkan metode antropometri untuk mengurangi risiko MSDs pada pengguna.

Kata kunci: Antropometri, Ergonomi, Halte, Postur Kerja, RULA

1. Pendahuluan

Kota Yogyakarta dikenal sebagai kota wisata, tidak heran jika banyak wisatawan lokal maupun mancanegara datang mengunjungi kota Yogyakarta. Menurut data statistik kunjungan wisatawan Kota Yogyakarta untuk periode 2017 hingga 2019, diketahui bahwa terdapat tren peningkatan setiap tahun. Pada tahun 2019, diketahui terdapat 4.378.609 wisatawan dan mengalami peningkatan dari tahun 2018. Jumlah pengunjung pada tahun 2018 mencapai 4.752.351, terdiri dari 219.332 wisatawan mancanegara dan 4.533.029 wisatawan lokal. Sedangkan pada tahun 2017, total jumlah wisatawan adalah 3.894.771. Hal tersebut juga telah melebihi target yang ingin dicapai oleh Dinas Pariwisata Kota Yogyakarta, di mana target sebelumnya adalah 3.307.500 namun terealisasi hingga 4.378.609 (Dinas Pariwisata Kota Yogyakarta, 2020). Berdasarkan data tersebut, tidak sedikit dari wisatawan yang memanfaatkan fasilitas-fasilitas publik yang disediakan oleh pihak terkait. Salah satu fasilitas publik yang digunakan oleh wisatawan adalah layanan bus Trans Jogja. Di mana bus Trans Jogja merupakan salah metode transportasi umum yang familiar dan terkenal dengan harga yang sangat terjangkau untuk dapat digunakan oleh para wisatawan ketika mengelilingi kota Yogyakarta. Fasilitas transportasi ini disediakan oleh Pemerintah Provinsi DIY sejak tahun 2008 dengan tujuan untuk mendukung aktivitas maupun kebutuhan masyarakat di wilayah Yogyakarta yang biasanya didominasi oleh mahasiswa dan keluarga yang sedang berwisata (Wibowo, 2014). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Hidayah (2020), didapatkan hasil bahwa terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi masyarakat untuk menggunakan fasilitas bus Trans Jogja seperti tarif yang murah, bus yang nyaman, halte yang mudah dijangkau, dan juga pelayanan petugas yang ramah.

Halte Bus Transjogja terdiri dari 256 halte yang menyebar di seluruh kota Yogyakarta (Pratama et al., 2023). Idealnya sebuah halte memiliki fasilitas yang lengkap dan memadai agar dapat memberikan kemudahan dan kenyamanan pengguna dalam menggunakannya. Dikarenakan pengguna bus pasti akan menunggu kedatangan bus pada waktu tertentu. Adapun

fasilitas yang telah dimiliki oleh halte pada umumnya seperti ruangan yang luas, kursi tunggu, pendingin ruangan, akses bagi pengguna disabilitas, dan lain-lain. Namun, pada kenyataannya halte bus Trans Jogja masih belum bisa dikatakan ideal untuk memenuhi kebutuhan masyarakat pengguna. Pada penelitian yang dilakukan oleh Kurniawan (2014) disebutkan bahwa pengguna merasakan ruang gerak di dalam halte yang terlalu sempit karena banyaknya penumpang yang menunggu kedatangan bus. Hal tersebut dirasa tidak aman dan nyaman bagi mereka dikarenakan fasilitas kursi yang ada dapat menimbulkan rasa sakit pada punggung. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk memberikan *redesign* ataupun perbaikan pada kursi halte sesuai kebutuhan pengguna agar dapat meningkatkan keamanan dan kenyamanan bagi semua kalangan pengguna halte Trans Jogja.

Fasilitas yang baik adalah fasilitas yang dapat memenuhi kepuasan pengguna dan tidak menimbulkan rasa tidak nyaman bagi penggunanya. Salah satu fasilitas yang dapat diperhatikan adalah tatanan ruang sirkulasi pada halte yang mana dapat memberikan rasa nyaman dan aman ketika halte memiliki ruang gerak yang cukup. Tidak hanya itu, desain tempat duduk halte juga menjadi pertimbangan bagi kenyamanan pengguna halte. Tempat duduk yang ergonomis harus menyesuaikan postur tubuh para pengguna halte agar dapat mencegah terjadinya MSDs ataupun gangguan tulang belakang. Dimana para pengguna umumnya memiliki posisi duduk yang tegak serta bersandar ketika menunggu kedatangan bus.

Musculoskeletal Disorders (MSDs) adalah cedera atau nyeri dan gangguan yang mempengaruhi gerakan tubuh manusia atau sistem muskuloskeletal (Laksana and Srisantyorini, 2019). Ergonomi turut berperan dalam penurunan resiko MSDs. Salah satu fokus dari ergonomi adalah merancang sistem yang sesuai dengan tubuh manusia serta memperhatikan aspek kegunaannya. Untuk mengetahui apakah sebuah kegiatan atau pekerjaan itu memiliki resiko MSDs dapat dilakukan melalui studi ergonomi. Dimana ergonomi merupakan studi mengenai aspek-aspek pada tubuh manusia terkait lingkungan kerja yang meliputi fisiologi, anatomi, psikologi, manajemen, dan perancangan (Nurmianto, 2008). Kemudian, dalam ergonomi terdapat metode khusus yang disebut dengan postur kerja dan dapat digunakan untuk menganalisis tingkat risiko gangguan otot skeletal. Menurut Susihono (seperti dikutip pada Sulaiman & Sari, 2016), postur kerja adalah sebuah studi terkait analisa keefektifan suatu pekerjaan. Analisis postur kerja dapat dilakukan untuk menilai dan mengetahui beban muskuloskeletal yang memungkinkan dapat menimbulkan gangguan pada tulang belakang.

Pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Toghas (2015), telah dilakukan perbaikan desain ruang pada fasilitas umum halte dengan pendekatan antropometri yang dapat mengakomodasi semua kalangan dan memberikan kenyamanan kepada pengguna ruang. Untuk mengetahui suasana langsung pada ruang publik halte, dilakukan observasi langsung di mana hasil menunjukkan bahwa beberapa halte Trans Jogja yang tersedia belum memperhatikan kualitas tatanan ruang sirkulasi pada halte yang dapat memberikan kenyamanan gerak bagi pengguna halte dan bus sehingga perlu dilakukan *redesign* pada fasilitas umum berupa desain halte yang luas, aman, dan nyaman. Dalam penelitian lain oleh Anggraeni (2012) digunakan metode pemetaan perilaku (*behavioral mapping*) dan metode simulasi dengan menggunakan program The Sims 3 yaitu simulasi alur pergerakan manusia di dalam halte. Dengan pendekatan antropometri, kinetik, fisiologi dan psikologi, hasil analisis menunjukkan bahwa halte yang sekarang tidak memenuhi standar kebutuhan dimensi gerak manusia, sehingga dibutuhkan *redesign* berupa penataan sirkulasi yang lebih baik.

Berdasarkan pernyataan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis fasilitas yang ada di halte bus Trans Jogja berdasarkan teori postur kerja guna menilai kesesuaiannya dengan batasan terkait risiko gangguan muskuloskeletal (MSDs). Penelitian ini juga menerapkan pendekatan antropometri pada desain fasilitas halte melalui berbagai pengukuran dimensi tubuh. Dari hasil perhitungan dimensi antropometri dan penggunaan alat bantu, diharapkan dapat

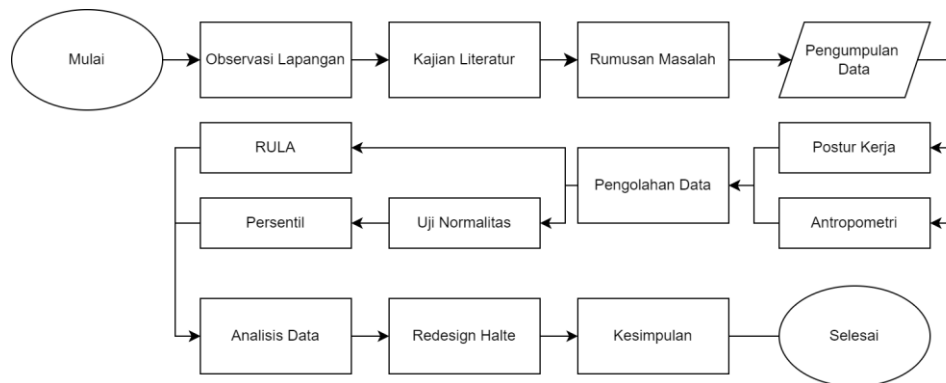
dilakukan desain ulang halte yang ergonomis sesuai dengan kebutuhan pengguna, serta meningkatkan kenyamanan dan kepuasan pengguna terhadap fasilitas halte Trans Jogja.

2. Metode

2.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan di halte trans Jogja pada masyarakat yang sedang menggunakan kursi tunggu. Metode *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA) digunakan untuk melakukan analisis postur kerja pengguna halte bus Trans Jogja saat duduk di kursi tunggu halte. Data postur kerja dikumpulkan secara langsung melalui pengambilan foto untuk dilakukan pengukuran sudut sesuai dengan metode RULA. Data yang telah terkumpul sebanyak 2 responden di mana data tersebut meliputi sudut *upper arm*, *lower arm*, *wrist*, *neck*, dan *trunk*. Setelah itu data akan diolah menggunakan *software* Ergofellow untuk mengetahui tingkat risiko MSDs dari skor RULA yang diperoleh dari setiap responden.

Kemudian metode antropometri digunakan untuk memastikan bahwa hasil *redesign* kursi tunggu halte sesuai dengan dimensi dan proporsi tubuh manusia, sehingga dapat memberikan kenyamanan dan keamanan bagi penggunaannya. Pengumpulan data antropometri dilakukan melalui pengukuran dimensi tubuh responden sebagai acuan dalam melakukan *redesign* kursi halte bus Trans Jogja. Data yang telah terkumpul sebanyak 30 responden berupa pengukuran beberapa dimensi tubuh antara lain TDT, LB, TPO, PPO, dan LP. Pemilihan dimensi ini disesuaikan dengan kebutuhan peneliti dalam melakukan *redesign* kursi tunggu halte. Setelah semua data dikumpulkan, dilakukan pengolahan data meliputi uji normalitas, perhitungan persentil, dan *redesign* produk. Berikut ini merupakan alur penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini:



Gambar 1. Alur Penelitian

Gambar 1 menunjukkan tahapan alur yang dilakukan dalam penelitian ini. Peneliti melakukan observasi secara langsung untuk mengetahui permasalahan yang terjadi di lapangan. Kemudian peneliti mengkaji beberapa literatur terdahulu terkait topik yang ingin diangkat dan merumuskan beberapa masalah. Setelah itu, peneliti melakukan pengumpulan data postur kerja RULA dengan mengukur sudut postur responden saat menggunakan fasilitas kursi halte serta data antropometri yang dikumpulkan melalui pengukuran dimensi tubuh pengguna. Kemudian dilakukan pengolahan data antropometri melalui uji normalitas dan perhitungan persentil. Peneliti juga menggunakan *software* Ergofellow untuk mengolah data RULA tersebut dan mengklasifikasikan hasil skor yang didapatkan. Kemudian hasil dari pengolahan data antropometri digunakan sebagai acuan untuk melakukan *re-design* kursi tunggu halte yang direkomendasikan oleh peneliti sebagai upaya perbaikan untuk mencegah risiko MSDs. Kemudian peneliti menyimpulkan beberapa hal terkait hasil penelitian yang didapatkan.

2.2 Rapid Upper Limb Assessment (RULA)

Rapid Upper Limb Assessment (RULA) merupakan metode yang dikembangkan dalam bidang ergonomi yang menginvestigasi dan menilai posisi kerja yang dilakukan oleh tubuh bagian atas (Wijaya & Muhsin, 2018). RULA berfungsi untuk mendeteksi postur kerja yang beresiko berdasarkan sikap kerja, kekuatan dan aktivitas otot yang disebabkan oleh aktivitas berulang dimana dari hasil perhitungan skor RULA yang didapatkan, akan dilakukan perbaikan atau pemberian rekomendasi (Hadyan & Saptadi, 2019). Pada metode RULA ini dibagi dua segmen tubuh bagian atas kedalam 2 grup untuk mempermudah perhitungan skor. Grup A meliputi lengan atas, lengan bawah, pergelangan tangan, dan putaran pergelangan tangan. Grup B meliputi leher, batang tubuh, dan kaki (Siska & Angrayni, 2018). Menurut Qutubuddin et al., (2013) terdapat 4 klasifikasi skor rula berdasarkan tingkat risiko dan tindakan yang diperlukan, yaitu sebagai berikut.

Tabel 1. Klasifikasi Skor RULA

Skor	Tingkat Risiko dan Tindakan
1 – 2	Risiko diabaikan, tidak perlu penanganan.
3 – 4	Risiko rendah, perubahan dibutuhkan.
5 – 6	Risiko sedang, penanganan lebih lanjut, butuh perubahan segera.
7	Sangat berisiko, lakukan perubahan sekarang.

Sumber: Qutubuddin et al., (2013)

Tabel 1 di atas merupakan tingkat klasifikasi skor RULA yang digunakan untuk mengetahui seberapa besar risiko MSDs yang terjadi dan memberikan rekomendasi sebagai upaya pencegahan untuk mengurangi risiko tersebut.

2.3 Antropometri

Antropometri secara luas digunakan sebagai pertimbangan ergonomi dalam suatu proses perancangan produk yang dapat meningkatkan fungsionalitas produk tersebut. Tujuan pendekatan antropometri yaitu agar adanya keserasian antara manusia dan sistem kerja, sehingga dapat bekerja secara aman, nyaman dan efisien. Antropometri adalah pengukuran dimensi tubuh atau karakteristik fisik tubuh lainnya yang relevan dengan desain objek yang digunakan oleh manusia (Sanders & McCormick, 1897; Pheasant & Pulat, 1992). Dalam penerapannya, antropometri dapat digunakan untuk desain area kerja, desain peralatan kerja, dan desain produk konsumen (Purnomo, 2014).

Perancangan produk konsumen meliputi barang-barang yang sering digunakan oleh manusia seperti kursi, meja, baju, celana, dan lain-lain. Contohnya adalah kursi, di mana bentuk kursi akan mempengaruhi tingkat kenyamanan penggunaannya, apakah sesuai dengan bentuk tubuhnya atau tidak. Berdasarkan tinjauan medis, selain memberikan kenyamanan, kursi ergonomis dapat meminimalkan sakit atau nyeri punggung dengan memperhatikan antropometri dimensi tubuh manusia (Ramdhianti et al., 2020). Perlu diketahui bahwa di dalam pengukuran dimensi tubuh manusia (antropometri), terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi ukuran tubuh manusia, yaitu umur, jenis kelamin, pekerjaan, etnis, lingkungan daerah, tingkat sosial dan gizi, kecacatan, iklim, dan kehamilan (Wicknes et al., 2004).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Skor Rapid Upper Limb Assessment (RULA)

Dalam melakukan perhitungan RULA meliputi beberapa tahapan yaitu penentuan sudut postur, perhitungan skor menggunakan *software* Ergofellow, dan pengklasifikasian risiko dan tindakan berdasarkan skor yang didapatkan. Gambar 2 dan 3 menampilkan hasil pengukuran sudut postur yang dilakukan oleh kedua responden.



Gambar 2. Foto Responden 1



Gambar 3. Foto Responden 2

Tabel 2 merangkum hasil pengukuran sudut tubuh dari gambar responden menggunakan metode RULA, yang mencakup berbagai segmen tubuh seperti lengan atas, lengan bawah, pergelangan tangan, leher, dan punggung.

Tabel 2. Sudut RULA

Segmen Tubuh	Sudut	
	Responden 1	Responden 2
<i>Upper Arm</i>	7°	19°
<i>Lower Arm</i>	31°	36°
<i>Wrist</i>	12°	10°
<i>Neck</i>	10°	13°
<i>Trunk</i>	13°	10°

Setelah mengukur sudut tubuh, dilanjutkan dengan menginput data sudut tersebut ke dalam *software* Ergofellow untuk mengetahui hasil skor yang diperoleh. Hasil perhitungan skor RULA pada responden 1 dan responden 2 ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Perhitungan Skor RULA

Part of The Body	Skor Responden 1	Skor Responden 2
<i>Upper Arm</i>	2	2
<i>Lower Arm</i>	1	1
<i>Wrist</i>	1	1
<i>Wrist Twist</i>	1	1
<i>Neck</i>	2	2
<i>Trunk</i>	2	2
<i>Legs</i>	1	1
<i>Muscle Use Load</i>	1	1
<i>Force/Load</i>	0	0
<i>Final score</i>	3	3

Hasil skor yang didapatkan dari kedua responden tersebut sebesar 3, di mana hal ini mengindikasikan bahwa perlunya penyelidikan lebih lanjut dan perubahan mungkin diperlukan. Oleh karena itu, peneliti melakukan *redesign* kursi tunggu halte melalui pendekatan antropometri agar mengetahui ukuran dan bentuk kursi yang ideal bagi para penggunanya.

3.2 Dimensi Antropometri

Data dimensi tubuh antropometri diolah melalui pengujian uji normalitas untuk mengetahui persebaran data pada masing-masing dimensi. Kemudian dilanjutkan dengan perhitungan persentil untuk memastikan kesesuaian ukuran dan kenyamanan pengguna saat menggunakan produk tersebut. Berdasarkan uji normalitas Kolmogorov-Smirnov yang telah dilakukan, didapatkan nilai signifikansi untuk dimensi TDT sebesar 0.103, dimensi LB sebesar 0.200, dimensi TPO sebesar 0.200, dimensi PPO sebesar 0.065, dan dimensi LP sebesar 0.200. Kelima dimensi tersebut memiliki nilai signifikansi yang lebih besar dari 0.05, sehingga berdasarkan aturan hipotesis dapat diartikan bahwa kelima data dimensi tersebut telah berdistribusi normal.

Setelah dilakukann uji normalitas, dilanjutkan dengan perhitungan persentil. Pada penelitian ini, peneliti menggunakan persentil 50 karena desain kursi halte ini merupakan fasilitas umum yang digunakan oleh berbagai populasi dengan ukuran dimensi tubuh yang bervariasi mulai dari anak kecil hingga lanjut usia. Perhitungan persentil dilakukan dengan menghitung nilai rata-rata, standar deviasi, dan formula persentil sebagai berikut:

$$P_x = X \pm Z_x \cdot \sigma \quad (1)$$

Keterangan:

X = Average of X

Z_x = Normal Standard Values (1.645)

σ = Standard Deviation

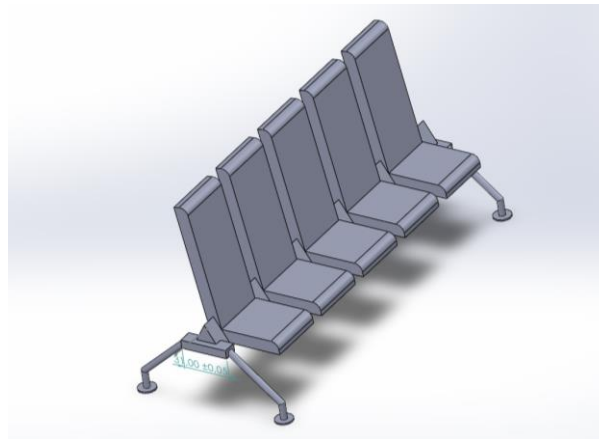
Tabel 4. Perhitungan Persentil

Dimensi	Rata-rata (cm)	Standar Deviasi	Hasil Persentil (P50 dalam cm)
TDT	83.08	4.35	83.08
LB	37.14	2.93	37.14
TPO	41.62	2.52	41.62
PPO	43.92	5.91	43.92
LP	34.63	3.54	34.63

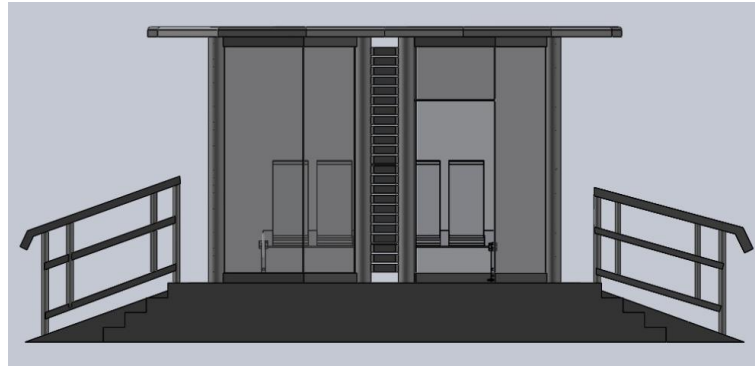
Tabel 4 menunjukkan hasil perhitungan persentil (P50) untuk semua dimensi antropometri. Hasil perhitungan persentil tersebut digunakan sebagai acuan dalam desain kursi tunggu halte, untuk menyesuaikan ukuran kursi dengan populasi pengguna rata-rata sehingga nyaman digunakan. Dimensi Tinggi Duduk Tegak (TDT) digunakan untuk merancang tinggi sandaran kursi dengan nilai persentil sebesar 83,08 cm. Dimensi Lebar Bahu (LB) digunakan untuk merancang lebar sandaran kursi dengan hasil sebesar 37,14 cm. Tinggi Popliteal (TPO) digunakan untuk mengukur jarak ideal dari alas dudukan ke lantai, dengan hasil sebesar 41,62 cm. Pantat Popliteal (PPO) digunakan untuk mengukur panjang dudukan kursi dari belakang ke depan, dengan hasil sebesar 43,92 cm. Dimensi Lebar Pinggul (LP) digunakan untuk mengukur lebar dudukan pada kursi tunggu, dengan hasil sebesar 34,63 cm.

3.3 Perancangan Kursi Tunggu Halte

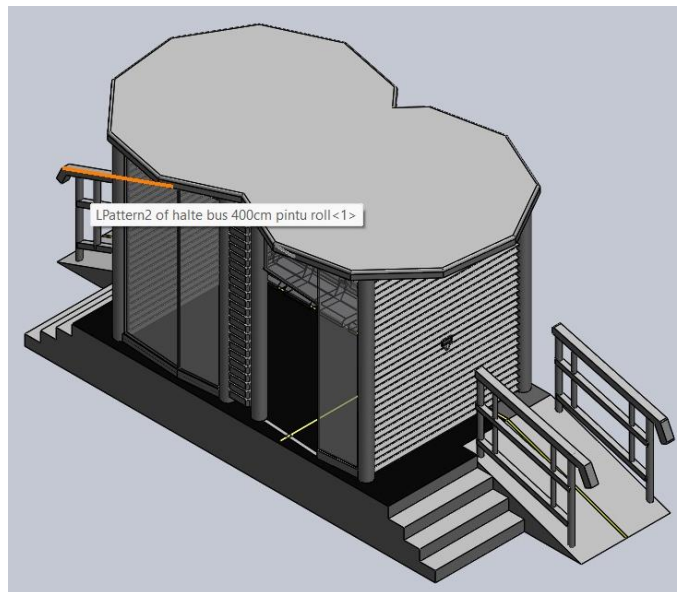
Perancangan kursi tunggu halte ini disesuaikan dengan ukuran antropometri dari responden yang telah diolah pada pembahasan sebelumnya. Hal ini dilakukan untuk meningkatkan kenyamanan pengguna dan mengurangi risiko MSDs bagi para pengguna kursi halte Trans Jogja. Berikut ini merupakan hasil *redesign* kursi tunggu halte Trans Jogja berupa ilustrasi 3D Design.



Gambar 4. *Redesign* Kursi Tunggu Halte (Front Side)



Gambar 5. *Redesign Halte (Front Side)*



Gambar 6. *Redesign Halte (Top Side)*

Pengukuran dimensi tinggi duduk tegak digunakan untuk mengukur tinggi sandaran kursi dari alas dudukan sampai ke atas. Kemudian dimensi lebar bahu digunakan untuk mengukur jarak antara lebar sandaran kursi dari samping kanan ke kiri. Selanjutnya pada dimensi tinggi popliteal digunakan untuk mengukur bagian tinggi kaki kursi halte tersebut. Hasil menunjukkan tinggi ideal kaki kursi halte dari lantai ke bagian alas dudukan. Pada dimensi pantat popliteal digunakan untuk mengukur panjang alas dudukan dari belakang ke depan. Kemudian yang terakhir yaitu dimensi lebar pinggul digunakan untuk mengetahui lebar alas dudukan kursi. Namun bagian kursi ini juga dapat disesuaikan dengan menyejajarkan ukuran sandaran kursi halte.

Beberapa aspek inovasi yang dapat ditambahkan yaitu pada bagian lantai halte dibuat jalur prioritas untuk orang-orang khusus atau difabel serta memberi bundaran-bundaran bertekstur pada lantai agar dapat digunakan oleh penyandang tunanetra. Kemudian dapat memperluas ruang gerak halte agar dapat memuat lebih banyak pengguna dan tidak sempit maupun berdesakan saat jumlah penumpang yang menunggu bis meningkat. Selanjutnya, adanya penambahan fasilitas kursi tunggu tambahan yang dirancang dengan material yang empuk sehingga nyaman digunakan.

4. Simpulan

Berdasarkan pengukuran dan analisis fasilitas halte Trans Jogja menggunakan metode postur kerja dan antropometri, dapat disimpulkan bahwa fasilitas kursi tunggu ini memiliki skor

RULA sebesar 3, yang masuk dalam kategori rendah tetapi membutuhkan perubahan. Hasil pendekatan antropometri memungkinkan peneliti merancang kursi halte yang sesuai dengan prinsip ergonomis, mulai dari sandaran kursi yang mengikuti lengkungan tulang belakang, penambahan material dudukan yang empuk, hingga penyesuaian ukuran dengan dimensi tubuh populasi rata-rata pengguna. Dengan demikian, desain fasilitas kursi halte dapat memberikan kenyamanan dan mengurangi risiko gangguan muskuloskeletal (MSDs) bagi pengguna halte. Peneliti juga mengusulkan inovasi berupa redesign kursi halte yang lebih ergonomis serta penambahan jalur prioritas khusus bagi penyandang disabilitas dan lansia dalam tata letak fasilitas halte. Hasil akhir menunjukkan luaran berupa perbaikan dan redesign kursi dengan menyesuaikan antropometri pengguna agar lebih nyaman digunakan oleh semua kalangan.

Daftar Pustaka

- Anggraeni, D. W. (2012). Penataan Ruang Halte Trans Jogja Di Bandara Adisucipto Yang Berbasis Ergonomi Dengan Program The Sims 3. *Jurnal Arsitektur Komposisi*, 10(1), 41-56.
- Dinas Pariwisata Kota Yogyakarta. (2020). Kajian *Length of Stay* Kota Yogyakarta Tahun 2020.
- Hadyan, A. F., & Saptadi, S. (2019). Desain Postur Kerja Berdasarkan Metode Rula untuk Menentukan Postur Kerja yang Baik pada PT Arisamandiri Pratama. *Industrial Engineering Online Journal*.
- Hidayah, T. (2020). Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Ketertarikan Masyarakat Terhadap Alat Transportasi Umum Bus Trans Jogja.
- Kurniawan, H. (2014). Tipologi Renovasi Aksesibilitas Halte Trans Jogja. *INKLUSI*, 1(1), 1-18.
- Laksana, A. J., & Srisantyorini, T. (2020). Analisis Risiko *Musculoskeletal Disorders* (MSDs) pada Operator Pengelasan (*Welding*) Bagian Manufaktur di PT X Tahun 2019. AN-Nur: *Jurnal Kajian dan Pengembangan Kesehatan Masyarakat*, 1(1), 64-73.
- Nurmianto, E. (2003). *Ergonomi Konsep Dasar dan Aplikasinya Edisi Pertama*. Guna Widya, Surabaya.
- Pheasant, & Pulat. (1992). *Bodyspace-Anthropometry, Ergonomics, And Design*. Taylor & Francis, London-Newyork-Philadelpia.
- Pratama, R. A., Anggraeni, T., & Gumilar, R. (2023). VISUALISASI SEBARAN OBJEK WISATA DAN JALUR BUS TRANS JOGJA BERBASIS WEBGIS. *GEOPLANART*, 6(1).
- Purnomo, H. (2014). Pengukuran antropometri tangan usia 18 sampai 22 tahun Kabupaten Sleman Yogyakarta.
- Qutubuddin, S. M., Hebbal, S. S., & Kuma, A. C. S. (2013). Ergonomic evaluation of tasks performed by workers in manual brick kilns in Karnataka, India. *Global Journal of Researches in Engineering*, 13(4), 35-42.
- Ramdhianti Et Al. (2020). Perancangan Ulang Kursi Pada Kafe Abraham And Smith Dengan Pendekatan Aspek Antropometri (Studi Kasus: Penggunaan Drum Minyak Bekas Sebagai Kursi). *Eproceedings Of Art & Design*, 7(2).
- Sanders, M.S & McCormick, E.J. (1987). *Human Factors in Engineering and Design*, USA: McGraw-Hill Book Company.
- Siska, M., & Angrayni, S. A. (2018). Analisis Postur Kerja Manual Material Handling Pada Aktivitas Pemindahan Pallet Menggunakan Rappid Upper Limb Activity (RULA) Di PT. Alam Permata Riau. *J. Sains, Teknologi dan Industri*, 15(2), 77-86.
- Sulaiman, F., & Sari, Y. P. (2018). Analisis postur kerja pekerja proses pengeasahan batu akik dengan menggunakan metode REBA. *Jurnal Optimalisasi*, 1(1).
- Toghas, L. M. J. (2015). Evaluasi halte bus Transjogja dengan tinjauan aspek ergonomi. *Jurnal Arsitektur Komposisi*, 11(1), 33-40.

- Wibowo, A. K., Utari, N., Ulya, K., & Sarifudin, R. (2015, October). Jogja Eco2 Cities: Konsep Tata Kota Untuk Mewujudkan YOGYAKARTA Sebagai Kota *Ecologies* Dan *Economics* Melalui Integrasi Transportasi Masal. In Pekan Ilmiah Mahasiswa Nasional Program Kreativitas Mahasiswa-Gagasan Tertulis 2014. Indonesian Ministry of Research, Technology and Higher Education.
- Wickens, C. D., Gordon, S. E., Liu, Y., & Lee, J. (2004). *An introduction to human factors engineering* (Vol. 2, p. 587). Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall.
- Wijaya, I. S. A., & Muhsin, A. (2018). Analisa Postur Kerja Dengan Metode Rapid Upper Limb Assessment (Rula) Pada Oparator Mesin Extruder Di Stasiun Kerja Extruding Pada Pt Xyz. *Opsi*, 11(1), 49-57.

Analisis Potensi Bahaya Kerja Menggunakan Metode JSA Untuk Pengendalian K3 di PT XYZ

Jihan Syafira Zahra¹⁾, Rahmaniya Dwi Astuti²⁾

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Jalan Ir. Sutami No. 36, Kota
Surakarta, 57126, Indonesia

Email: jihansyafiraz@student.uns.ac.id, rahmaniyahdwi@staff.uns.ac.id

ABSTRAK

Industri manufaktur menjadi industri yang banyak menyerap tenaga kerja. Adanya interaksi antara pekerja dengan berbagai jenis mesin, membuat industri manufaktur berpotensi terjadi suatu kecelakaan kerja. Oleh karena itu, perlu dilakukan pemantauan dan pengendalian K3 guna mencegah terjadinya kecelakaan kerja selama bekerja. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk pengendalian K3 adalah metode *Job Safety Analysis* (JSA). Metode ini memungkinkan para pekerja dan juga perusahaan untuk mengetahui berbagai potensi bahaya selama bekerja serta upaya pengendaliannya. Dengan begitu, diharapkan pekerja dan perusahaan dapat awas mengenai K3 sehingga kecelakaan kerja dapat dihindarkan. Sehingga, penelitian dilakukan untuk mencegah adanya bahaya yang dapat timbul dalam pembuatan *part* roda sampung pintu bendungan di PT XYZ dengan pembuatan *Job Safety Analysis* (JSA). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa banyak terdapat potensi bahaya di tempat kerja yang dapat timbul sehingga dapat dicegah dengan pembuatan JSA dan juga ketertiban dalam pemakaian APD dan menaati peraturan K3.

Kata kunci: Bahaya Kerja, *Job Safety Analysis*, Manufaktur, Pengendalian K3

1. Pendahuluan

Manufaktur adalah proses mengubah bahan baku menjadi suatu produk, di mana proses ini meliputi perancangan produk, pemilihan material, dan tahap-tahap proses di mana produk tersebut dibuat (Supriyanto, 2013). Di Indonesia sendiri, industri manufaktur masih menjadi pendorong utama perekonomian sosial yang juga menjadi sektor terbesar ketiga dalam hal penyerapan tenaga kerja. Banyaknya jumlah tenaga kerja yang diserap dalam industri manufaktur ini membuat keselamatan dan kesehatan kerja dalam sebuah industri manufaktur perlu diperhatikan, baik oleh pemerintah maupun oleh perusahaan.

Menurut Mathis dan Jackson, keselamatan dan kesehatan kerja adalah kegiatan yang menjamin terciptanya kondisi kerja yang aman, terhindar atas gangguan fisik dan mental yang dilakukan melalui sebuah pembinaan dan pelatihan, pengarahan dan kontrol terhadap pelaksanaan tugas dari karyawan serta pemberian bantuan sesuai dengan aturan yang berlaku, baik dari lembaga pemerintah maupun perusahaan di mana karyawan tersebut bekerja (Bhastary & Suwardi, 2018). Oleh karena itu, pelaksanaan kesehatan dan keselamatan kerja merupakan suatu usaha kita untuk dapat menciptakan lingkungan kerja yang sehat dan aman, sehingga dapat mengurangi probabilitas kecelakaan kerja/penyakit akibat kelalaian. Dengan pelaksanaan K3 yang baik, berbagai jenis bahaya dapat dicegah.

Hazard atau bahaya adalah sumber atau situasi yang mempunyai potensi bahaya dalam hal cedera manusia atau kesehatan yang buruk, kerusakan properti, kerusakan lingkungan atau kombinasi dari hal-hal tersebut (Rout, B.K. et al, 2017). Beberapa jenis bahaya menurut (Shaleh, M.K & Leman, A.M, 2016) yang dapat terjadi di tempat kerja adalah bahaya fisik, bahaya kimia, bahaya biologi, bahaya ergonomi, dan bahaya psikologi.

Menurut ILO, terdapat lebih dari 250 juta kecelakaan di tempat kerja dan lebih dari 160 juta pekerja menjadi sakit karena bahaya di tempat kerja pada setiap tahunnya. Melihat

tingginya angka itu, maka setiap perusahaan harus berusaha untuk selalu menjaga keselamatan dan kesehatan kerja demi dapat mencegah bahaya yang dapat menimbulkan suatu kecelakaan kerja. Untuk itu, salah satu metode yang dapat digunakan untuk membantu pengendalian K3 di perusahaan adalah *Job Safety Analysis* (JSA).

PT XYZ adalah salah satu perusahaan milik negara atau BUMN yang bergerak di bidang EPC (*Engineering Procurement & Construction*), manufaktur peralatan industri, dan dalam bidang *foundry* atau pengecoran. PT XYZ berfokus pada *hydromechanical*, yaitu memproduksi berbagai peralatan hidromekanik seperti pintu air, *trash rack*, *penstock*, dan berbagai aksesoris pendukung bendungan lain seperti roda samping pintu. Dalam penelitian ini, akan dilakukan pengamatan pada proses pembuatan roda samping pintu bendungan yang prosesnya dilakukan pada lini *cutting* dan terdiri atas proses *cutting*, *drilling*, dan juga *turning*. Dalam proses pembuatannya, terdapat beberapa risiko yang tentunya dapat membahayakan para pekerja karena melibatkan penggunaan mesin. Bahaya yang dapat timbul akibat kerja dapat bermacam-macam jenisnya. Terdapat beberapa jenis bahaya (Erliana, dan Azis, 2020), yaitu :

1. Bahaya Fisik.

Bahaya Fisik merupakan bahaya yang berpotensi menimbulkan gangguan-gangguan kesehatan terhadap pekerja yang terpapar.

2. Bahaya Kimia

Bahaya Kimia merupakan bahaya yang berasal dari bahan kimia yang dipakai selama kegiatan kerja berlangsung.

3. Bahaya Biologi

Bahaya Biologi adalah bahaya yang diakibatkan oleh organisme atau makhluk hidup

4. Bahaya Psikologi

Bahaya Psikologi adalah bahaya yang ditimbulkan oleh kondisi kejiwaan tenaga kerja.

Selain beberapa jenis bahaya tersebut, terdapat juga berbagai bahaya lain seperti bahaya mekanik, bahaya elektrik, bahaya kebakaran, bahaya peledakan, dan juga bahaya ergonomi.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Mulyojati pada PT Mega Jaya Logam, di PT Mega Jaya Logam masih terdapat kecelakaan kerja yang disebabkan oleh kurangnya kepedulian pekerja akan risiko bahaya kerja dan juga akan pentingnya penggunaan APD. Kurangnya pemahaman pekerja mengenai pentingnya Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) menimbulkan kecelakaan kerja di PT Mega Jaya Logam yang mengakibatkan cedera pada pekerja bahkan menimbulkan hilang atau berkurangnya hari kerja (Mulyojati, P. A. M., & Yuamita, F, 2023).

Penelitian selanjutnya yang dilakukan oleh Rahman, M. D. P. pada PT Wilmar Nabati Indonesia, diketahui bahwa divisi K3 perusahaan tersebut masih menggunakan dukungan eksternal dan tidak memiliki catatan manajemen yang tepat untuk kecelakaan kerja dalam proses manufakturnya karena belum menerapkan program khusus untuk mengantisipasi dan juga mengurangi kecelakaan dalam proses manufaktur. Sehingga, program minimal yang dilakukan oleh PT Wilmar Nabati Indonesia adalah dengan pengadaan *briefing* keselamatan pekerja secara berkala.

Penerapan K3 di PT XYZ ini sudah cukup baik namun perlu dilakukan peningkatan untuk membantu meningkatkan K3 perusahaan pula. Pengawasan serta pengendalian K3 dilakukan oleh Unit QSHE yang memiliki berbagai program untuk membantu mengendalikan K3 perusahaan, di antaranya dengan melakukan inspeksi *unsafe condition* dan *unsafe action* setiap hari, inspeksi lingkungan fisik kerja setiap bulan, inspeksi APAR setiap bulan, inspeksi kotak P3K setiap bulan, inspeksi APD setiap bulan, dan juga pelatihan apabila dibutuhkan. Namun, kondisi nyata yang ada di PT XYZ memperlihatkan bahwa para pekerja terutama di lini *cutting*

masih belum menyadari dan juga mengimplementasikan pentingnya K3 terutama penggunaan APD di lingkungan kerja. Hal ini dibuktikan bahwa ketika dilakukan observasi di lingkungan kerja lini *cutting*, hampir sebagian besar pekerja tidak menggunakan APD seperti masker, sarung tangan, *earplug*, dan alat pelindung diri lainnya. Mereka hanya menggunakan APD wajib seperti *safety helmet*, *safety shoes*, dan juga pakaian kerja meskipun sedang melakukan pekerjaan di lini tersebut. Para pekerja menganggap bahwa pekerjaan di lini tersebut tergolong cukup aman dan tidak perlu menggunakan APD tambahan seperti masker, sarung tangan, *earplug*, dan *safety gloves*. Padahal, di bulan Februari 2024, terjadi 2 kecelakaan kerja ringan yang terjadi di lini *cutting*. Oleh karena itu, untuk dapat membantu meningkatkan kesadaran pekerja akan pentingnya menjaga K3 di lingkungan kerja dan membantu mencegah terjadinya kecelakaan kerja, dirancanglah suatu *Job Safety Analysis (JSA)* untuk pembuatan roda samping pintu bendungan yang prosesnya dilakukan dari awal hingga akhir di lini *cutting*. Pembuatan *Job Safety Analysis (JSA)* ini diharapkan dapat menjadi bahan evaluasi perusahaan untuk lebih meningkatkan kondisi K3 di perusahaan serta dapat digunakan oleh para pekerja untuk meningkatkan kesadaran mereka terkait pentingnya K3 di lingkungan kerja demi keselamatan mereka selama bekerja. Sehingga, penelitian ini bertujuan untuk dapat mencegah adanya bahaya yang dapat timbul dalam pembuatan *part* roda samping pintu bendungan di PT XYZ dengan pembuatan *Job Safety Analysis (JSA)*.

2. Metode

Pada penelitian ini digunakan metode deskriptif kualitatif sehingga data yang digunakan merupakan data kualitatif. Data yang diperlukan dalam penelitian ini yaitu proses produksi roda samping pintu bendungan, informasi penggunaan APD para pekerja serta PKOM untuk lini mesin *cutting*, *drilling*, dan *turning*. Dari data yang diperoleh kemudian akan dilakukan analisis menggunakan metode *Job Safety Analysis (JSA)*. *Job Safety Analysis (JSA)* adalah suatu cara untuk mengidentifikasi bahaya pada suatu lingkungan kerja sekaligus upaya pengendalian dan penanggulangan guna mencegah penyakit atau kecelakaan yang mungkin timbul dari suatu pekerjaan (Choudhary Pulkit Solanki Scholar Assistant Professor & Gidwani, 2018). Dalam metode JSA terdapat 4 langkah yang dilakukan sebagai berikut (Ardinal, 2020) :

a. Memilih Pekerjaan untuk Dianalisis

Tahap ini dilakukan penentuan pekerjaan yang akan dianalisis serta penentuan lokasi, observasi, serta wawancara kepada pekerja terkait untuk dapat menentukan bahaya serta risiko mengenai pekerjaan yang akan dianalisis. Pada tahap ini ditentukan bahwa pekerjaan yang akan dianalisis yaitu pembuatan *part* roda samping pintu bendungan dan dilakukan wawancara pula terhadap 3 pekerja terkait yang mengoperasikan 3 lini mesin yang berbeda.

b. Menentukan Urutan dan Langkah-Langkah Pekerjaan

Tahap ini dilakukan penyusunan urutan atau langkah-langkah pekerjaan berdasarkan observasi dan juga wawancara yang telah dilakukan. Pada tahap ini, didapatkan hasil bahwa pada pembuatan *part* roda samping pintu bendungan dilakukan tahapan *cutting* selanjutnya *drilling* dan yang terakhir *turning*.

c. Menganalisa Risiko Bahaya untuk Tiap Langkah Kerja

Tahap ini dilakukan analisa atau identifikasi terkait bahaya kerja yang dapat terjadi pada tiap langkah kerja di masing-masing lini.

d. Melakukan Upaya Pengendalian

Tahap ini dilakukan pencarian dan penentuan solusi dari setiap bahaya yang diidentifikasi untuk dapat mencegah terjadinya kecelakaan kerja.

3. Hasil dan Pembahasan

Pada lini *cutting*, terdapat 7 langkah kerja yang akan dianalisis potensi bahayanya, diantaranya yaitu :

- a. Mengukur bahan baku yang akan dipotong
- b. Melakukan *set up* mesin *cutting*
- c. Mengambil bahan baku yang akan dipotong
- d. Meletakkan bahan baku ke mesin *cutting*
- e. Menjepit bahan baku dengan ragum
- f. Melakukan proses *cutting*
- g. Mengeluarkan bahan baku dari ragum

Berdasarkan uraian langkah kerja diatas, dilakukan analisis potensi bahaya serta upaya pengendaliannya sehingga didapatkan hasil *Job Safety Analysis* (JSA) pada lini stasiun *cutting* sebagai berikut.

JOB SAFETY ANALYSIS (JSA)			
Perusahaan : PT XYZ			
Lini : 1 (Cutting)			
Mesin yang digunakan : <i>Bendsaw</i>			
Tanggal : 21 Februari 2024			
Proyek Pengerjaan : Roda Samping Pintu Bendungan			
ALAT PELINDUNG DIRI YANG DIGUNAKAN			
Seragam Kerja Sarung tangan kulit			
<i>Safety Helmet</i> Masker			
<i>Safety Shoes</i> <i>Safety Glasses</i>			
<i>Earplug</i>			
No	Proses Pengerjaan	Potensi Bahaya	Pengendalian
1	Mengukur bahan baku yang akan dipotong	Nyeri pada punggung	Melakukan peregangan sebelum bekerja dan di sela-sela bekerja
		Nyeri pada leher	Melakukan peregangan sebelum bekerja dan di sela-sela bekerja
		Tergores meteran	Penggunaan sarung tangan Penerangan yang baik
2	Melakukan <i>set up</i> mesin <i>cutting</i>	Tersetrum listrik	Pengecekan secara berkala kondisi kelistrikan perusahaan Penggunaan sarung tangan
		Tergores mesin	Penggunaan sarung tangan Penerangan yang baik
		Terjepit mesin	Penggunaan sarung tangan Penerangan yang baik
3	Mengambil bahan baku yang akan dipotong	Nyeri pada punggung	Melakukan peregangan sebelum bekerja dan di sela-sela bekerja Menggunakan postur tubuh yang baik saat mengangkat benda
		Nyeri pada leher	Melakukan peregangan sebelum bekerja dan di sela-sela bekerja
		Tersandung	Berjalan di area pejalan kaki yang sudah bebas dari material yang tercecer Penggunaan <i>safety shoes</i>
		Tertimpa bahan baku yang terjatuh	Memegang benda dengan erat Penggunaan <i>safety shoes</i> Penerangan yang baik
4	Meletakkan bahan baku ke mesin <i>cutting</i>	Tergores bahan baku	Penggunaan sarung tangan Penerangan yang baik
		Tertimpa bahan baku yang terjatuh	Penggunaan <i>safety shoes</i> Penerangan yang baik
5	Menjepit bahan baku dengan ragum	Terjepit ragum	Penggunaan mesin sesuai dengan PKOM Penerangan yang baik Penggunaan sarung tangan
6	Melakukan proses <i>cutting</i>	Tergores mata <i>cutting</i>	Penggunaan mesin sesuai dengan PKOM Penggunaan sarung tangan
		Nyeri pada punggung	Penyediaan kursi yang ergonomis Melakukan peregangan sebelum bekerja dan di sela-sela bekerja
		Nyeri pada leher	Melakukan peregangan sebelum bekerja dan di sela-sela bekerja
		Serbuk potongan masuk ke mata	Penggunaan <i>safety glasses</i>
7	Mengeluarkan bahan baku dari ragum	Tergores bahan baku	Penggunaan sarung tangan Penerangan yang baik
		Terjepit ragum	Penggunaan mesin sesuai dengan PKOM Penerangan yang baik Penggunaan sarung tangan

Gambar 1. JSA Lini *Cutting*

Pada lini *drilling*, terdapat 7 langkah kerja yang akan dianalisis potensi bahayanya, di antaranya yaitu :

- a. Melakukan *set up* mesin *drilling*
- b. Mengambil benda kerja yang sudah diproses di stasiun *cutting*
- c. Meletakkan benda kerja ke mesin *drilling*
- d. Menjepit benda kerja dengan ragum menggunakan tang
- e. Memosisikan mata bor ke dalam benda kerja
- f. Melakukan proses *drilling*
- g. Mengeluarkan benda kerja dari ragum menggunakan tang

Berdasarkan uraian langkah kerja di atas, dilakukan analisis potensi bahaya serta upaya pengendaliannya sehingga didapatkan hasil *Job Safety Analysis* (JSA) pada lini stasiun *drilling* sebagai berikut.

JOB SAFETY ANALYSIS (JSA)			
Perusahaan : PT XYZ Lini : 1 (Drilling) Mesin yang digunakan : Drill Tanggal : 21 Februari 2024 Proyek Pengerjaan : Roda Samping Pintu Bendungan			
ALAT PELINDUNG DIRI YANG DIGUNAKAN Seragam Kerja Sarung tangan kulit Safety Helmet Masker Safety Shoes Safety Glasses Earplug			
No	Proses Pengerjaan	Potensi Bahaya	Pengendalian
1	Melakukan <i>set up</i> mesin <i>drilling</i>	Terserum listrik	Pengecekan secara berkala kondisi kelistrikan perusahaan Penggunaan sarung tangan
		Tergores mesin	Penggunaan sarung tangan Penerangan yang baik
		Terjepit mesin	Penggunaan sarung tangan Penerangan yang baik
2	Mengambil benda kerja yang sudah diproses di stasiun <i>cutting</i>	Nyeri pada punggung	Melakukan peregangan sebelum bekerja dan di sela-sela bekerja Menggunakan postur tubuh yang baik saat mengangkat benda
		Nyeri pada leher	Melakukan peregangan sebelum bekerja dan di sela-sela bekerja
		Tersandung	Berjalan di area pejalan kaki yang sudah bebas dari material yang tercecer Penggunaan <i>safety shoes</i>
		Tertimpa benda kerja yang terjatuh	Memegang benda dengan erat Penggunaan <i>safety shoes</i> Penerangan yang baik
3	Meletakkan benda kerja ke mesin <i>drilling</i>	Tergores benda kerja	Penggunaan sarung tangan Penerangan yang baik
		Tertimpa benda kerja yang terjatuh	Memegang benda dengan erat Penggunaan <i>safety shoes</i> Penerangan yang baik
4	Menjepit benda kerja dengan ragum menggunakan tang	Nyeri pada punggung	Melakukan peregangan sebelum bekerja dan di sela-sela bekerja
		Nyeri pada leher	Melakukan peregangan sebelum bekerja dan di sela-sela bekerja
		Terjepit ragum	Penggunaan mesin sesuai dengan PKOM Penerangan yang baik Penggunaan sarung tangan
		Tertimpa tang	Memegang benda dengan erat Penggunaan <i>safety shoes</i>
5	Memposisikan mata bor ke dalam benda kerja	Tergores mesin	Penggunaan sarung tangan Penerangan yang baik
		Nyeri pada punggung	Melakukan peregangan sebelum bekerja dan di sela-sela bekerja
		Nyeri pada leher	Melakukan peregangan sebelum bekerja dan di sela-sela bekerja
6	Melakukan proses <i>drilling</i>	Tergores mata bor	Penggunaan mesin sesuai dengan PKOM Penggunaan sarung tangan
		Nyeri pada punggung	Penyediaan kursi yang ergonomis Melakukan peregangan sebelum bekerja dan di sela-sela bekerja
		Nyeri pada leher	Melakukan peregangan sebelum bekerja dan di sela-sela bekerja
		Serbuk hasil <i>drilling</i> masuk ke mata	Penggunaan <i>safety glasses</i>
		Terhirup serbuk hasil <i>drilling</i>	Penggunaan masker
		Kebisingan	Penggunaan <i>earplug</i> bulan
7	Mengeluarkan benda kerja dari ragum menggunakan tang	Nyeri pada punggung	Melakukan peregangan sebelum bekerja dan di sela-sela bekerja
		Nyeri pada leher	Melakukan peregangan sebelum bekerja dan di sela-sela bekerja
		Tergores benda kerja	Penggunaan sarung tangan Penerangan yang baik
		Tertimpa tang	Memegang benda dengan erat Penggunaan <i>safety shoes</i>
		Terjepit ragum	Penggunaan mesin sesuai dengan PKOM Penerangan yang baik Penggunaan sarung tangan

Gambar 2. JSA Lini *Drilling*

Pada lini *turning*, terdapat 9 langkah kerja yang akan dianalisis potensi bahayanya, diantaranya yaitu :

- a. Melakukan *set up* mesin *turning*
- b. Mengambil benda kerja yang sudah diproses di stasiun *drilling*
- c. Mengukur benda kerja sesuai dengan *drawing*
- d. Meletakkan benda kerja ke mesin *turning*
- e. Menjepit benda kerja dengan ragum menggunakan tang
- f. Mengukur kerataan diameter
- g. Melakukan proses *turning*
- h. Mengeluarkan benda kerja dari ragum menggunakan tang
- i. Meletakkan benda kerja pada tempat penyimpanan sementara

Berdasarkan uraian langkah kerja di atas, dilakukan analisis potensi bahaya serta upaya pengendaliannya sehingga didapatkan hasil *Job Safety Analysis* (JSA) pada lini stasiun *turning* sebagai berikut.

JOB SAFETY ANALYSIS (JSA)			
Perusahaan : PT XYZ			
Lini : 1 (Cutting)			
Mesin yang digunakan : Lathe			
Tanggal : 21 Februari 2024			
Proyek Pengerjaan : Roda Samping Pintu Bendungan			
ALAT PELINDUNG DIRI YANG DIGUNAKAN			
Seragam Kerja : Sarung tangan kulit			
Safety Helmet : Masker			
Safety Shoes : Safety Glasses			
Earplug			
No	Proses Pengerjaan	Potensi Bahaya	Pengendalian
1	Melakukan <i>set up</i> mesin <i>turning</i>	Tersetrum listrik	Pengecekan secara berkala kondisi kelistrikan perusahaan Penggunaan sarung tangan
		Tergores mesin	Penggunaan sarung tangan Penerangan yang baik
		Terjepit mesin	Penggunaan sarung tangan Penerangan yang baik
2	Mengambil benda kerja yang sudah diproses di stasiun <i>turning</i>	Nyeri pada punggung	Melakukan perengangan sebelum bekerja dan di sela-sela bekerja Menggunakan postur tubuh yang baik saat mengangkat benda
		Nyeri pada leher	Melakukan perengangan sebelum bekerja dan di sela-sela bekerja
		Tersandung	Berjalan di area pejalan kaki yang sudah bebas dari material yang tercecer Penggunaan <i>safety shoes</i>
		Tertimpa benda kerja yang terjatuh	Memegang benda dengan erat Penggunaan <i>safety shoes</i> Penerangan yang baik
3	Mengukur benda kerja sesuai dengan <i>drawing</i>	Nyeri pada punggung	Melakukan perengangan sebelum bekerja dan di sela-sela bekerja
		Nyeri pada leher	Melakukan perengangan sebelum bekerja dan di sela-sela bekerja
		Tergores meteran	Penggunaan sarung tangan Penerangan yang baik
4	Meletakkan benda kerja ke mesin <i>turning</i>	Tergores benda kerja	Penggunaan sarung tangan Penerangan yang baik
		Tertimpa benda kerja yang terjatuh	Memegang benda dengan erat Penggunaan <i>safety shoes</i> Penerangan yang baik
5	Menjepit bahan baku dengan ragum menggunakan tang	Nyeri pada punggung	Melakukan perengangan sebelum bekerja dan di sela-sela bekerja
		Nyeri pada leher	Melakukan perengangan sebelum bekerja dan di sela-sela bekerja
		Terjepit ragum	Penggunaan mesin sesuai dengan PKOM Penerangan yang baik Penggunaan sarung tangan
		Tertimpa tang	Memegang benda dengan erat Penggunaan <i>safety shoes</i>
6	Mengukur kerataan diameter	Tergores <i>cylinder bore gauge</i>	Penggunaan sarung tangan Penerangan yang baik
7	Melakukan proses <i>turning</i>	Tergores mata bor	Penggunaan mesin sesuai dengan PKOM Penggunaan sarung tangan
		Nyeri pada punggung	Penyediaan kursi yang ergonomis Melakukan perengangan sebelum bekerja dan di sela-sela bekerja
		Nyeri pada leher	Melakukan perengangan sebelum bekerja dan di sela-sela bekerja
		Serbuk hasil <i>turning</i> masuk ke mata	Penggunaan <i>safety glasses</i>
		Terhirup serbuk hasil <i>turning</i>	Penggunaan masker
		Kebisingan	Penggunaan earplug Pemeriksaan intensitas kebisingan setiap bulan
8	Mengeluarkan benda kerja dari ragum menggunakan tang	Nyeri pada punggung	Melakukan perengangan sebelum bekerja dan di sela-sela bekerja
		Nyeri pada leher	Melakukan perengangan sebelum bekerja dan di sela-sela bekerja
		Tergores benda kerja	Penggunaan sarung tangan Penerangan yang baik
		Tertimpa tang	Memegang benda dengan erat Penggunaan <i>safety shoes</i>
		Terjepit ragum	Penggunaan mesin sesuai dengan PKOM Penerangan yang baik Penggunaan sarung tangan
9	Meletakkan benda kerja pada tempat penyimpanan sementara	Nyeri pada punggung	Melakukan perengangan sebelum bekerja dan di sela-sela bekerja
		Nyeri pada leher	Melakukan perengangan sebelum bekerja dan di sela-sela bekerja
		Tersandung	Berjalan di area pejalan kaki yang sudah bebas dari material yang tercecer Penggunaan <i>safety shoes</i>
		Tertimpa benda kerja yang terjatuh	Memegang benda dengan erat Penggunaan <i>safety shoes</i> Penerangan yang baik
		Tergores benda kerja	Penggunaan sarung tangan Penerangan yang baik

Gambar 3. JSA Lini *Turning*

Berdasarkan uraian hasil analisis *Job Safety Analysis* (JSA) pada lini *cutting*, *drilling*, dan juga *turning* diidentifikasi terdapat 4 jenis bahaya yang berpotensi ada di lini *cutting*, di antaranya yaitu Bahaya Ergonomi, Bahaya Mekanik, Bahaya Elektrik, dan juga Bahaya Fisik. Dari bahaya-bahaya tersebut, dapat dilakukan berbagai upaya pengendalian seperti :

- a. Penyediaan kursi yang ergonomis
- b. Melakukan peregangan sebelum dan di sela-sela bekerja
- c. Menggunakan postur tubuh yang baik saat mengangkat benda
- d. Penggunaan APD berupa sarung tangan, masker, *safety shoes*, *earplug* dan *safety glasses*
- e. Penerangan lingkungan yang baik
- f. Pemeriksaan intensitas kebisingan setiap bulan
- g. Penggunaan mesin sesuai dengan PKOM
- h. Pengecekan secara berkala kondisi kelistrikan perusahaan
- i. Berjalan di area pejalan kaki

Oleh karena itu, dapat diketahui bahwa penggunaan APD secara lengkap merupakan hal dasar yang wajib dilakukan oleh para pekerja demi menjaga keselamatan dirinya selama bekerja. Banyaknya potensi bahaya yang dapat muncul menyebabkan perlu adanya kebijakan ketat perusahaan mengenai penggunaan APD dan juga pemantauan penggunaannya, misalnya dengan adanya inspeksi APD. Selain itu, untuk membangun kesadaran dan juga pengetahuan para pekerja terkait K3 maupun penggunaan APD, perlu diadakan suatu pelatihan K3 oleh perusahaan secara rutin. Dengan begitu, diharapkan potensi bahaya yang ada selama bekerja dapat diminimalkan dan kecelakaan kerja dapat dihindarkan.

4. Simpulan

Pada pembuatan *part* roda samping pintu bendungan ini teridentifikasi beberapa potensi bahaya berdasarkan uraian pekerjaannya. Di antaranya :

- Pada stasiun operator *cutting*, ditemukan potensi bahaya ergonomi berupa nyeri pada punggung dan leher; bahaya mekanik berupa tergores meteran, tergores mesin, terjepit mesin, terjepit ragum, dan tergores mata *cutting*; bahaya elektrik berupa tersetrum listrik; dan bahaya fisik berupa tersandung, tertimpa bahan baku yang terjatuh, tergores bahan baku, dan serbuk potongan masuk ke mata.
- Pada stasiun operator *drilling*, ditemukan potensi bahaya ergonomi berupa nyeri pada punggung dan leher; bahaya mekanik berupa tergores mesin, terjepit mesin, terjepit ragum, tertimpa tang, dan tergores mata bor; bahaya elektrik berupa tersetrum listrik; dan bahaya fisik berupa tersandung, tertimpa benda kerja yang terjatuh, tergores benda kerja, serbuk hasil *drilling* masuk ke mata, terhirup serbuk hasil *drilling*, dan kebisingan.
- Pada stasiun operator *turning*, ditemukan potensi bahaya ergonomi berupa nyeri pada punggung dan leher; bahaya mekanik berupa tergores mesin, terjepit mesin, tergores meteran, terjepit ragum, tertimpa tang, tergores *cylinder bore gauge*, dan tergores mata bor; bahaya elektrik berupa tersetrum listrik; dan bahaya fisik berupa tersandung, tergores benda kerja, tertimpa benda kerja yang terjatuh, serbuk hasil *turning* masuk ke mata, terhirup serbuk hasil *turning*, dan kebisingan.

Salah satu cara untuk dapat mencegah adanya potensi bahaya di atas yang mungkin timbul adalah dengan pembuatan *Job Safety Analysis* (JSA) yang berisi uraian pekerjaan, potensi bahaya, beserta upaya pengendaliannya sehingga para pekerja dapat mengetahui potensi bahaya yang mungkin timbul dari setiap langkah pembuatan beserta upaya pencegahannya sehingga pekerja dapat lebih waspada dan paham mengenai keselamatan dan kesehatan kerja. Dengan begitu, diharapkan tingkat kecelakaan akibat kerja pun menurun karena meningkatnya pengetahuan dan kesadaran dari pekerja.

Daftar Pustaka

- Ardinal. 2020. *Analisa Keselamatan Kerja (Job Safety Analysis)*. Jakarta: Yong Ardinal Rhuekamp
- Bhastary, M. D., & Suwardi, K. (2018). Analisis Pengaruh Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) dan Lingkungan Kerja terhadap Kinerja Karyawan di PT.Samudera Perdana. 7(1).
- Choudhary Pulkit Solanki Scholar Assistant Professor, S. P., & Gidwani, G. (2018). *Job Safety Analysis (JSA) Applied In Construction Industry*. In IJSTE International Journal of Science Technology & Engineering | (Vol. 4). www.ijste.org
- Erliana, C.I., & Azis, A. (2020). Identifikasi Bahaya dan Penilaian Risiko Pada Stasiun Switchyard di PT. PJB UBJ O&M Pltmg Arun Menggunakan Metode Hazard Identification, Risk Analysis And Risk Control (Hirarc). *Industrial Engineering Journal*, 9(2).
- International Labour Organization (2004). *Keselamatan dan Kesehatan Kerja di Indonesia*. (Jakarta, April 2004).
- Mulyojati, P. A. M., & Yuamita, F. (2023). Analisis Potensi Bahaya Kerja Pada Proses Pencetakan Pengecoran Logam Menggunakan Metode Job Safety Analysis (JSA). *Jurnal Teknologi dan Manajemen Industri Terapan*, 2(2), 90-97.
- Rahman, M. D. P. Job Safety Analysis (Jsa) As A Work Accident Risk Control Effort In Fabrication Work At PT. Wilmar Vegetable Indonesia. *Teknika Sains: Jurnal Ilmu Teknik*, 7(22), 99-109.
- Rout, B. K., & Sikdar, B. K. (2017). Hazard identification, risk assessment, and control measures as an effective tool of occupational health assessment of hazardous process in an iron ore pelletizing industry. *Indian journal of occupational and environmental medicine*, 21(2), 56-76.
- Shaleh, M. K., & Leman, A. M. (2016). Systematic approach for hazard identification, risk assessment and risk control (HIRARC) in workplace according to DOSH guidelines. In *International Graduate Conference on Engineering, Science and Humanities*.
- Supriyanto, E. (2013). "MANUFAKTUR" DALAM DUNIA TEKNIK INDUSTRI (Vol. 3, Issue 3).

Analisis Risiko Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3) pada Laboratorium Aspal Teknik Sipil Universitas Global Jakarta dengan Metode HIRAC

Aulia Choiri Windari^{*1,2)}, Lasikun¹⁾, Pringgo Widyo Laksono¹⁾, Feri Nugroho³⁾, Legenda Pramesworo⁴⁾

¹⁾Profesi Insinyur, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami No.36, Solo, 57126, Indonesia

²⁾Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Jakarta Global University, Jl. Boulevard Grand Depok City, Depok, 16412, Indonesia

³⁾Program Studi Bisnis Digital, Fakultas Ekonomi Bisnis, Jakarta Global University, Jl. Boulevard Grand Depok City, Depok, 16412, Indonesia

⁴⁾Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Jakarta Global University, Jl. Boulevard Grand Depok City, Depok, 16412, Indonesia

Email: *auliacwindari@gmail.com

ABSTRAK

Universitas memiliki peran yang signifikan dalam memperkenalkan dan mengenalkan praktik Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) kepada mahasiswa. Kegiatan praktikum di laboratorium merupakan momen yang berpotensi meningkatkan risiko kecelakaan, sehingga diperlukan analisis potensi bahaya K3. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi potensi bahaya, melakukan evaluasi risiko, dan menetapkan langkah-langkah pengendalian risiko secara menyeluruh di Laboratorium Aspal Jurusan Teknik Sipil Universitas Global Jakarta. Metode *Hazard Identification, Risk Assessment, dan Risk Control* (HIRARC) diterapkan untuk analisis tersebut. Hasil penelitian menunjukkan adanya berbagai potensi bahaya, seperti eksposur terhadap bahan kimia, risiko kebakaran, cedera fisik, dan pelanggaran prosedur. Tindakan pengendalian yang direkomendasikan meliputi penggunaan peralatan pelindung diri, penerapan prosedur kerja yang aman, pelatihan bagi personel, pemeliharaan fasilitas, dan koordinasi yang efisien. Dengan penerapan langkah-langkah pengendalian risiko yang komprehensif, diharapkan dapat mengurangi angka kecelakaan kerja dan menciptakan lingkungan laboratorium yang aman dan sehat.

Kata kunci: HIRARC, Identifikasi Bahaya, Identifikasi Bahaya, Penilaian Risiko

1. Pendahuluan

Perguruan tinggi memegang peran krusial dalam memperkenalkan dan menanamkan praktik Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) kepada mahasiswa. Kegiatan praktikum menjadi komponen yang tak terpisahkan dari proses pembelajaran di universitas yang dapat meningkatkan potensi kecelakaan. Laboratorium, sebagai tempat simulasi praktik kerja, menjadi salah satu fasilitas kunci dalam pengajaran di berbagai jurusan (Ghika Smarandana et al., 2021).

Di Jurusan Teknik Sipil Universitas Global Jakarta, terdapat fasilitas laboratorium aspal yang menjadi bagian dari sarana yang mendukung kegiatan praktikum dan penelitian bagi mahasiswa dan staf pengajar di lingkungan Fakultas Teknik. Laboratorium ini digunakan untuk berbagai pengujian material aspal dan campuran beraspal guna mendukung proses perencanaan dan analisis konstruksi jalan. Sebagai salah satu laboratorium yang beroperasi secara aktif, tentunya terdapat potensi risiko keselamatan dan kesehatan yang perlu diidentifikasi dan dikelola dengan cermat.

Pentingnya melakukan analisis potensi risiko keselamatan dan kesehatan kerja (K3) di Laboratorium Aspal Jurusan Teknik Sipil Universitas Global Jakarta menonjol. Tujuannya adalah untuk memastikan keselamatan dan kenyamanan bagi semua pengguna laboratorium, termasuk mahasiswa, dosen, dan staf pendidikan. Hasil analisis ini juga dapat menjadi landasan bagi manajemen dalam merancang program dan prosedur K3 yang efektif guna mencegah dan mengurangi kemungkinan terjadinya kecelakaan kerja. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi, menilai risiko, dan mengendalikan risiko secara menyeluruh. Metode *Hazard Identification, Risk Assessment, dan Risk Control* (HIRARC) dipilih sebagai pendekatan

yang tepat untuk menganalisis potensi risiko K3 di Laboratorium Aspal Jurusan Teknik Sipil Universitas Global Jakarta.

2. Metode

Analisis Risiko Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3) di Laboratorium Aspal Jurusan Teknik Sipil Universitas Global Jakarta menggunakan metode HIRARC bertujuan untuk menciptakan lingkungan laboratorium yang aman dan sehat.

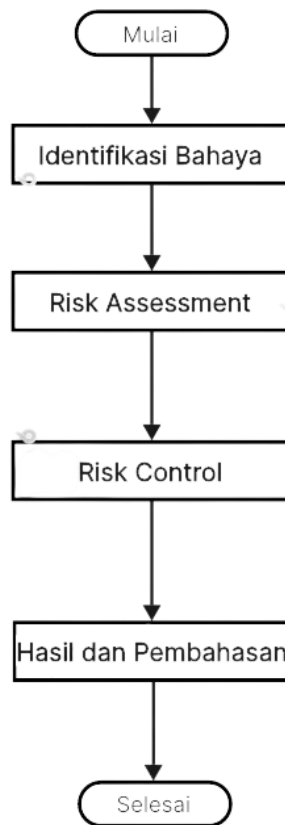
Pertama, identifikasi bahaya dilakukan dengan menginspeksi seluruh area kerja, mulai dari mesin, peralatan, laboratorium, kantor, gudang, hingga transportasi. Bahaya diklasifikasikan ke dalam lima faktor utama: manusia, metode, material, mesin, dan lingkungan. Selanjutnya, penilaian risiko dilakukan dengan mengevaluasi potensi bahaya yang diidentifikasi. Menggunakan tabel probabilitas dan tingkat keparahan berdasarkan standar AS/NZS 4360:2004, tingkat risiko dikategorikan menjadi *Low*, *Moderate*, *High*, dan *Extreme*.

Berdasarkan hasil penilaian risiko, langkah pengendalian risiko diterapkan secara bertahap, mulai dari eliminasi, substitusi, pengendalian teknis, pengendalian administratif, dan penggunaan APD. Hasil dan pembahasan menunjukkan bahwa terdapat berbagai potensi bahaya di Laboratorium Aspal, seperti paparan bahan kimia, risiko kebakaran, cedera fisik, dan pelanggaran prosedur.

Berdasarkan hasil analisis, langkah pengendalian risiko yang direkomendasikan meliputi penggunaan APD yang sesuai, penerapan prosedur kerja yang aman, pelatihan K3 bagi personel, pemeliharaan fasilitas, dan koordinasi yang efektif. Simpulan dari analisis HIRARC ini menekankan pentingnya adopsi pengendalian risiko yang komprehensif untuk mengurangi kejadian kecelakaan kerja dan menciptakan lingkungan laboratorium yang aman dan sehat bagi semua pihak terkait. *Flowchart* dari penelitian ini berada pada Gambar 1 *Flowchart* Penelitian di bawah.

Hazard Identification, Risk Assessment, dan Risk Control (HIRARC) adalah prosedur untuk mengidentifikasi potensi bahaya yang mungkin muncul dalam kegiatan sehari-hari maupun kegiatan yang di luar rutin, yang kemudian dievaluasi berdasarkan tingkat risiko yang terkait dengan bahaya tersebut. Tujuan dari proses ini adalah untuk menilai seberapa besar risiko yang mungkin timbul dari bahaya tersebut, baik dalam tingkat keparahan maupun kemungkinan terjadinya, sehingga membantu dalam mengendalikan risiko tersebut secara efektif (Triswandana, 2020).

Sesuai dengan ketentuan pasal 4.3.1 OHSAS 18001:2007, perusahaan diwajibkan untuk mengimplementasikan Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) dalam seluruh aktivitasnya, termasuk praktikum yang dilakukan di lingkungan universitas. Proses penyusunan HIRAC terbagi menjadi beberapa langkah, termasuk mengklasifikasikan jenis pekerjaan, mengidentifikasi potensi bahaya, melakukan evaluasi risiko, dan menetapkan tingkat risiko yang terlibat (Ghika Smarandana et al., 2021). Berikut adalah beberapa step analisis metode HIRARC:



Gambar 1. Flowchart Analisis

a. Identifikasi Bahaya

Proses inspeksi di setiap lingkungan kerja bertujuan untuk mengenali potensi bahaya yang mungkin terjadi dalam pekerjaan tersebut. Area kerja mencakup berbagai lokasi seperti mesin, peralatan kerja, laboratorium, area perkantoran, gudang, dan transportasi. Sumber bahaya dapat dikelompokkan menjadi lima faktor utama, yaitu manusia, metode, material, mesin, dan lingkungan (Giananta et al., 2020)

b. Penilaian Risiko/ Risk Assesment

Evaluasi risiko dalam studi kasus penelitian ini adalah tahap penilaian yang dimanfaatkan untuk mengenali potensi bahaya yang mungkin timbul. Tujuannya adalah untuk menjamin pengendalian risiko dari proses, operasi, atau kegiatan yang dilakukan berada pada tingkat yang dapat diterima (Ulimaz, 2022). Tabel 1 dibawah ini menunjukkan skala probabilitas dan tingkat keparahan yang digunakan dalam analisis risiko menggunakan metode HIRARC (*Hazard Identification, Risk Assessment, and Risk Control*).

Tabel 1 Skala Probability Pada Standar AS/NZS 4360 : 2004 (Ulimaz, 2022)

Level	Standar	Keterangan
A	<i>Almost Certain</i>	Tentu terjadi jika situasi tersebut terjadi
B	<i>Likely</i>	Mungkin akan terjadi jika kejadian tersebut terjadi
C	<i>Possible</i>	Dapat terjadi kapan saja
D	<i>Unlikely</i>	Mungkin terjadi kapan saja
E	<i>Rare</i>	Hanya mungkin terjadi dalam situasi-situasi tertentu

Dalam Tabel 2 di bawah, tertera matriks risiko yang menunjukkan tingkat risiko berdasarkan probabilitas dan tingkat keparahan. Matriks ini digunakan untuk menetapkan urutan prioritas pengendalian risiko dalam analisis HIRARC.

Tabel 2. Ukuran *Severity* pada Standar AS/NZS 4360-2004 (Ulimaz, 2022)

Level	Standar	Keterangan
1	<i>Insignificant</i> (tidak bermakna)	Tidak ada kerugian substansial, kerusakan materi minimal, cedera ringan
2	<i>Minor</i> (kecil)	Cedera ringan yang membutuhkan perawatan langsung dari P2K3 dan bisa ditangani di lokasi kejadian, kerusakan materi sedang
3	<i>Moderate</i> (sedang)	Hilangnya hari kerja, memerlukan perawatan medis, kerusakan materi signifikan
4	<i>Major</i> (besar)	Cedera yang mengakibatkan cacat atau kehilangan fungsi tubuh secara total, kerugian materi besar
5	<i>Extreme</i>	Menyebabkan kerusakan materi yang sangat besar

Tabel 3. Skala *Risk Rating* pada Standar AS/ NZS 4360-2004 (Muhammad Rizki Fauzi et al., 2022)

<i>Likelihood</i>	Keparahan (<i>severity</i>)				
	1	2	3	4	5
A	H	H	E	E	E
B	M	H	E	E	E
C	L	M	H	E	E
D	L	L	M	H	E
E	L	L	M	H	H

Tabel 4 di bawah ini menunjukkan matriks untuk menentukan tingkat risiko berdasarkan nilai probabilitas dan tingkat keparahan, yang digunakan dalam proses penilaian risiko menggunakan metode HIRARC.

Tabel 4. Tingkat Risiko

Tingkat Risiko	Score	Keterangan
<i>Low</i>	1-4	Masih dapat dikelola
<i>Moderate</i>	5-11	Tanggung jawab manajemen harus ditentukan
<i>High</i>	12-16	Diperlukan perhatian khusus
<i>Extreme</i>	>16	Dilakukan pengendalian segera

c. Pengendalian Risiko

Pengelolaan risiko dilakukan terhadap semua potensi bahaya yang diidentifikasi dalam proses identifikasi bahaya, dengan memperhitungkan tingkat risiko untuk menentukan urutan prioritas dan metode pengendaliannya. Setiap tugas di suatu perusahaan pasti melibatkan sejumlah risiko yang mungkin terjadi. Risiko-risiko ini dapat mengakibatkan kecelakaan saat praktikum dilakukan (Ulimaz, 2022). Dalam menetapkan langkah-langkah pengendalian risiko, perlu memperhitungkan urutan prioritas pengendalian dimulai dari eliminasi, substitusi, pengendalian teknis, pengendalian administratif, dan penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) (Muhammad Rizki Fauzi et al., 2022).

3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan penelitian tentang HIRARC yang dilakukan di Laboratorium Aspal Jurusan Teknik Sipil Universitas Global Jakarta, terdapat tiga jenis kegiatan praktikum yang menjadi fokus penelitian

a. Risk Assesment Pengujian Aspal

Tabel 5 di bawah ini menampilkan hasil evaluasi risiko pada pengujian destilasi aspal. Terdapat delapan tahap pengujian dalam praktikum tersebut, di mana tiga tahap memiliki penilaian risiko rendah dengan status Low yang ditandai dengan warna hijau. Sementara itu, lima tahap pengujian lainnya memiliki penilaian risiko sedang dengan status Medium yang ditunjukkan dengan warna kuning.

Tabel 5. Risk Assesment Pada Pengujian Destilasi Aspal

No	Proses	Bahaya	Risiko	Condition	Severity	Likelihood	Risk Rating
1	Persiapan Alat dan Bahan	Paparan bahan kimia	Risiko iritasi kulit atau pernapasan	N	D	2	L
2	Pemanasan dan Penyulingan	Risiko kebakaran, paparan panas	Kebakaran, luka bakar	N	D	2	L
3	Penggunaan Pembakar	Risiko kebakaran	Kebakaran	N	D	2	L
4	Penanganan Peralatan	Risiko mekanis	Cedera fisik	N	D	3	M
5	Pemilihan Bahan Kimia	Paparan bahan kimia	Risiko keracunan	N	D	3	M
6	Penanganan Gas	Risiko kebakaran, paparan gas	Kebakaran, risiko kesehatan	A	D	3	M
7	Perhitungan Hasil	Risiko kesalahan perhitungan	Kesalahan dalam perhitungan hasil	N	D	3	M
8	Pembersihan Peralatan	Risiko paparan bahan kimia	Risiko iritasi kulit atau pernapasan	N	D	3	M

Pada tabel 6 di bawah menunjukkan hasil analisis *Risk Assesment* pada pengujian titik lembek aspal. Terdapat delapan proses pengujian pada praktikum tersebut dengan hasil analisis *risk rating* terdapat satu proses dengan hasil *High* dengan warna merah yang berarti pada proses pemanasan sampel terdapat risiko bahaya terbakar atau tertumpah sampel aspal cair yang panas saat melakukan pengujian. Kemudian terdapat lima hasil Low pada proses pengujian titik lembek aspal dan dua hasil *risk rating* medium.

Tabel 6. Risk Assesment Pengujian Titik Lembek Aspal

No	Proses	Bahaya	Risiko	Condition	Severity	Likelihood	Risk Rating
1	Pemanasan Sampel	Risiko kebakaran, paparan panas	Kebakaran, luka bakar	N	C	3	H
2	Penanganan Peralatan	Risiko mekanis	Cedera fisik	N	D	2	L
3	Penggunaan Bunsen Burner	Risiko kebakaran	Kebakaran	A	D	2	L
4	Penggunaan Thermometer	Risiko luka akibat pecahnya termometer	Cedera fisik	N	D	2	L
5	Penanganan Bola Baja	Risiko luka akibat kejatuhan bola baja	Cedera fisik	N	D	2	L
6	Pemanasan Bejana	Risiko kebakaran, paparan panas	Kebakaran, luka bakar	N	D	3	M
7	Penanganan Bahan Kimia	Paparan bahan kimia	Risiko iritasi kulit atau pernapasan, keracunan	N	D	3	M
8	Pembersihan Peralatan	Risiko paparan bahan kimia	Risiko iritasi kulit atau pernapasan	N	D	2	L

Pada tabel 7 di bawah menunjukkan hasil analisis *Risk Assesment* pada pengujian penetrasi aspal. Terdapat enam proses pengujian pada praktikum tersebut dengan hasil analisis *risk rating* terdapat satu proses dengan hasil *High* dengan warna merah yang berarti pada proses pemanasan sampel terdapat risiko bahaya terbakar atau tertumpah *sample* aspal cair yang panas saat melakukan pengujian. Kemudian terdapat tiga hasil Low yang dilambangkan dengan warna kuning yaitu pada proses penanganan peralatan, penggunaan *timer*, dan pembersihan peralatan. Terdapat dua hasil medium untuk proses penanganan bahan kimia dan pengukuran penetrasi yang dilambangkan dengan warna hijau.

Tabel 7 Risk Assesment Pengujian Penetrasi Aspal

No	Proses	Bahaya	Risiko	Condition	Severity	Likelihood	Risk Rating
1	Pemanasan Aspal	Risiko kebakaran, paparan panas	Kebakaran, luka bakar	N	C	3	H
2	Penanganan Peralatan	Risiko mekanis, risiko kimia	Cedera fisik, iritasi kulit atau pernapasan	N	D	2	L
3	Penanganan Bahan Kimia	Risiko paparan bahan kimia	Risiko iritasi kulit atau pernapasan, keracunan	N	D	3	M
4	Penggunaan Timer	Risiko kecelakaan akibat kesalahan penggunaan	Kesalahan pengukuran waktu	N	D	2	L
5	Pengukuran Penetrasi	Risiko luka akibat jarum penetrasi	Cedera fisik	N	D	3	M
6	Pembersihan Peralatan	Risiko paparan bahan kimia	Risiko iritasi kulit atau pernapasan	N	D	2	L

b. Risk Control

Pengendalian Risiko Berdasarkan hasil analisis HIRARC di Laboratorium Aspal Jurusan Teknik Sipil Universitas Global Jakarta, berikut adalah langkah-langkah pengendalian risiko yang disarankan:

1. Penggunaan Alat Pelindung Diri (APD)
 - Wajib menggunakan APD yang sesuai saat melakukan praktikum, seperti jas laboratorium, sarung tangan, masker, dan kacamata pelindung.
 - Menyediakan APD yang memadai dan memastikan personel menggunakannya dengan benar.
2. Penerapan Prosedur Kerja yang Aman
 - Menyusun dan menerapkan prosedur kerja yang jelas dan rinci untuk setiap kegiatan praktikum.
 - Melakukan sosialisasi dan pelatihan prosedur kerja kepada seluruh pengguna laboratorium.
 - Memastikan seluruh personel memahami dan mematuhi prosedur kerja yang berlaku.
3. Pelatihan Personel
 - Menyelenggarakan pelatihan K3 secara berkala bagi mahasiswa, dosen, dan tenaga kependidikan yang terlibat di laboratorium.

- Materi pelatihan mencakup identifikasi bahaya, penilaian risiko, dan teknik pengendalian risiko.
4. Pemeliharaan Fasilitas
 - Melakukan pemeliharaan rutin terhadap peralatan dan fasilitas laboratorium.
 - Memastikan seluruh peralatan berfungsi dengan baik dan aman digunakan.
 5. Koordinasi yang Efektif
 - Menjalinkan koordinasi yang efektif antara pihak manajemen, dosen, dan mahasiswa.
 - Memastikan adanya komunikasi yang baik terkait isu-isu K3 di laboratorium.
 - Melakukan evaluasi dan perbaikan secara berkala terhadap implementasi pengendalian risiko.

Dengan implementasi pengendalian risiko yang komprehensif, diharapkan dapat meminimalkan kejadian kecelakaan kerja dan menciptakan lingkungan laboratorium yang aman dan sehat bagi seluruh pemangku kepentingan.

4. Simpulan

Hasil evaluasi HIRARC di Laboratorium Aspal Jurusan Teknik Sipil Universitas Global Jakarta menunjukkan adanya sejumlah potensi bahaya dan risiko yang perlu dikelola dengan baik guna memastikan keselamatan dan kesehatan semua pengguna laboratorium. Beberapa risiko utama yang teridentifikasi meliputi paparan bahan kimia, risiko kebakaran, cedera fisik, dan kesalahan prosedur.

Upaya pengendalian yang direkomendasikan termasuk penggunaan alat pelindung diri, penerapan prosedur kerja yang aman, pelatihan untuk personel, pemeliharaan fasilitas, dan koordinasi efektif. Dengan adopsi pengendalian risiko yang komprehensif, diharapkan dapat mengurangi kejadian kecelakaan kerja dan menciptakan lingkungan laboratorium yang aman dan sehat bagi semua pihak terkait.

Secara garis besar, analisis HIRARC ini memberikan gambaran komprehensif mengenai aspek K3 di Laboratorium Aspal Jurusan Teknik Sipil Universitas Global Jakarta. Temuan dari analisis ini dapat menjadi dasar bagi manajemen untuk merancang dan menerapkan program K3 yang efektif di lingkungan laboratorium.

Daftar Pustaka

- Ghika Smarandana, Ade Momon, & Jauhari Arifin. (2021). Penilaian Risiko K3 pada Proses Pabrikasi Menggunakan Metode Hazard Identification, Risk Assessment and Risk Control (HIRARC). In *Jurnal INTECH Teknik Industri Universitas Serang Raya* (Vol. 7, Nomor 1, hal. 56–62). <https://doi.org/10.30656/intech.v7i1.2709>
- Giananta, P., Hutabarat, J., & Soemanto. (2020). Analisa Potensi Bahaya Dan Perbaikan Sistem Keselamatan dan Kesehatan Kerja Menggunakan Metode HIRARC Di PT. Boma Bisma Indra. *Jurnal Valtech (Jurnal Mahasiswa Teknik Industri)*, 3(2), 106–110.
- Muhammad Rizki Fauzi, Layla Fitri Romadhoni, & Rois Fatoni. (2022). Analisis Potensi Risiko Bahaya Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) pada Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta dengan Metode Hirarc. *Simposium Nasional RAPI XX – 2021 FT UMS, 2021: Prosiding Simposium Nasional Rekayasa Aplikasi Perancangan dan Industri*, 69–75.
- Triswandana, E. (2020). Penilaian Risiko K3 dengan Metode HIRARC. *UKaRsT*, 4(1), 96. <https://doi.org/10.30737/ukarst.v4i1.788>
- Ulimaz, A. (2022). Analisis Keselamatan dan Kesehatan Kerja pada Stasiun Loading Ramp dengan Metode HIRARC di PT. XYZ. *INSOLOGI: Jurnal Sains dan Teknologi*, 1(3), 268–279. <https://doi.org/10.55123/insologi.v1i3.573>

Evaluasi *Eco-Efficiency* dan Dampak Lingkungan dengan *Life Cycle Assessment* di UMKM Tempe Sukoharjo

Mathilda Sri Lestari^{*1)}, Suprpto²⁾, dan Sri Hartanti³⁾

^{1,2)}Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Veteran Bangun Nusantara, Jl. Letjend Sujono Humardani No. 1 Jombor, Sukoharjo, 57521 Indonesia

³⁾Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Jl. Grafika No.2, Senolowo, Sinduadi, Kec. Mlati, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55281 Indonesia

Email: mathilda3015@gmail.com , supraptodd2@gmail.com , artanti473@gmail.com

ABSTRAK

UMKM Tempe Sukoharjo yang memiliki aktivitas transportasi, produksi, dan *packaging*. Penelitian ini bertujuan melakukan analisis terhadap praktik *Green Supply Chain* di UMKM Tempe Sukoharjo pada *Life Cycle Assessment* pada *Software* Simapro 9.5.0 digunakan pada penelitian ini untuk mengetahui sejauh mana dampak lingkungan yang dihasilkan, serta untuk mengetahui secara spesifik jenis material yang memberikan pengaruh paling besar terhadap lingkungan. Penelitian ini menggunakan analisis *carbon footprint*, *Life Cycle Assessment*, dan *Eco-Efficiency* untuk memberikan rekomendasi upaya pengurangan jejak karbon, dan mendukung penggunaan penggunaan sumber daya secara efisien, serta pengurangan jumlah limbah. Analisis LCA menunjukkan bahwa proses yang memberikan *environmental impact* paling besar adalah proses *transportation*. Seluruh produk memiliki nilai EEI antara 0-1, menunjukkan produk terjangkau dari segi biaya, tetapi tidak *sustainable*. Pada produk Tempe Pendek memiliki nilai EER 2%, artinya memiliki efisiensi lingkungan yang kurang baik, sedangkan Tempe Panjang dan Tempe Besar Panjang memiliki nilai EER 41%, artinya memiliki efisiensi lingkungan cukup baik.

Kata kunci: *Eco-Efficiency*, *Green Supply Chain*, *Life Cycle Assessment*

1. Pendahuluan

Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM) menjadi sumber perekonomian yang besar di Indonesia. Hal ini terbukti bahwa UMKM memiliki kontribusi terhadap PDB sebesar 61,07% atau senilai Rp 8.573,89 Triliun. UMKM mampu menyerap 117 juta pekerja atau 97% dari total tenaga kerja yang ada, serta dapat menghimpun 60,4% dari total investasi (Kementerian Koperasi dan UKM, 2023). UMKM mampu memberikan pengaruh besar terhadap perekonomian. Sebab aktivitas UMKM dapat mempengaruhi sektor ekonomi lainnya secara signifikan (Supriatna et al., 2023). Hal ini terlihat dari adanya berbagai kolaborasi antara UMKM dengan berbagai *stakeholder* (Zimmermann et al., 2024; Kane et al., 2017), maupun melalui aktivitas rantai pasok yang melibatkan berbagai industri (Carissimi et al., 2023).

Salah satu aktivitas rantai pasok yang dilakukan UMKM adalah aktivitas pemenuhan bahan baku maupun material lain yang dibutuhkan untuk proses operasional. Ini menunjukkan bahwa UMKM merupakan bagian dari jaringan rantai pasok, di mana setiap UMKM menerapkan strategi yang berbeda untuk mengelola rantai pasokan mereka (Winter et al., 2023). Hal ini sejalan dengan aktivitas yang dilakukan di UMKM Tempe Sukoharjo, yaitu salah satu UMKM yang saat ini sedang berkembang dan merekrut tenaga kerja dari masyarakat sekitar. UMKM Tempe Sukoharjo memiliki 3 aktivitas utama, yaitu transportasi, produksi, dan *packaging*.

Proses transportasi terjadi pada aktivitas pembelian bahan baku berupa kedelai, maupun proses distribusi. Pembelian kedelai dilakukan di Pasar Legi, sedangkan pada proses distribusi yaitu menyetorkan Tempe ke kantin sekolah, kantin pabrik di Sukoharjo, dan berjualan tempe keliling di area Sukoharjo. Kendaraan yang digunakan untuk pembelian bahan baku adalah Colt

L300, yang menggunakan bahan bakar solar. Sedangkan untuk proses distribusi menggunakan motor berbahan bakar bensin.

Penggunaan kendaraan berbahan bakar fosil tentunya menghasilkan emisi CO₂ yang dapat mempengaruhi lingkungan. Kendaraan mampu menimbulkan berbagai macam gas dan partikel termasuk berbagai senyawa organik dan anorganik dengan berat molekul yang dapat dihirup langsung melalui hidung, termasuk CO₂ (Primasanti & Aryani, 2022). Setiap liter solar dapat menghasilkan 2,67kg CO₂ (IPCC, 2006). Sedangkan setiap liter bensin mampu menghasilkan 2,4kg CO₂ (Setiawan, 2022). Peningkatan polusi atau kadar emisi menjadi permasalahan yang serius, karena pengaruhnya terhadap kesehatan masyarakat secara global (Idrees & Zheng, 2020).

Aktivitas UMKM Tempe Sukoharjo selanjutnya adalah proses produksi. Bahan baku yang digunakan adalah kedelai, sejumlah 200kg per hari. Banyaknya kapasitas produksi berbanding lurus dengan jumlah limbah yang dihasilkan. Limbah pangan merupakan masalah yang harus diperhatikan baik di negara maju maupun negara berkembang, sebab berkaitan dengan kesehatan, ketahanan pangan, dan aspek keberlanjutan utama lainnya (Walia & Sanders, 2019). Bahan pangan jika tidak dikelola dapat memberikan dampak ekonomi dan sosial, serta tekanan yang tidak semestinya pada sumber daya alam dan lingkungan yang terbatas (Chirsanova & Calcatiniuc, 2021).

UMKM Tempe Sukoharjo telah menerapkan pengelolaan limbah. Di antaranya limbah ampas kedelai dan air sisa pencucian kedelai digunakan untuk pakan ternak. Hal ini menunjukkan bahwa UMKM Tempe Sukoharjo memiliki tanggung jawab terhadap keberlangsungan lingkungan. Tetapi seluruh kegiatan operasional di UMKM Tempe Sukoharjo tentunya menggunakan sumber daya yang banyak, sehingga perlu dilakukan analisis lebih lanjut untuk mengetahui dampak lingkungan dari keseluruhan proses tersebut. Purwaningsih et al., (2020) telah melakukan penelitian untuk mengukur *eco-cost* dan EER (*Eco Efficiency Ratio*) dari produksi pensil, serta dilakukan analisis *Life Cycle Assessment*. Hasilnya menunjukkan bahwa *EEI (Eco Efficiency Index)* produk pensil adalah 1,69 artinya produk tersebut *affordable* dan *sustainable*. Tetapi analisis *Life Cycle Assessment* yang digunakan hanya fokus pada proses produksi saja, dan belum melakukan analisis operasional secara keseluruhan.

Menurut Amjad et al. (2023), proses bisnis harus memperhatikan perspektif kinerja ekonomi dan lingkungan secara menyeluruh. Hal ini bertujuan memberikan keseimbangan antara dimensi ekonomi, lingkungan, dan sosial keberlanjutan. Daddi et al. (2017) melakukan penelitian mengukur dampak lingkungan dari *Tannery Industry* di Italia, di mana UMKM yang menggunakan tindakan kolektif dengan pendekatan klaster untuk berbagi sumber daya dan teknologi mampu memberikan efisiensi yang lebih tinggi, serta mengurangi *carbon footprint*. Besné et al. (2018) juga melakukan penelitian mengintegrasikan *Fuzzy Logic* dengan *Life Cycle Assessment* untuk analisis efisiensi lingkungan. Integrasi metode ini memberikan peringkat preferensi yang menunjukkan urutan skenario berdasarkan tingkat efisiensi lingkungan. Produk yang dihasilkan yaitu plastik dengan mempertimbangkan 6 lokasi pemasok *polypropylene*, dan focus penelitian pada dampak ekonomi dan lingkungan per unit fungsional. Ini menunjukkan bahwa analisis yang dilakukan hanya fokus pada transportasi, dan belum mempertimbangkan aktivitas lain selama operasional.

Penelitian ini akan dilakukan analisis *carbon footprint*, *Life Cycle Assessment*, dan *Eco-Efficiency*. Sehingga dapat memberikan rekomendasi kepada UMKM Tempe Sukoharjo sebagai upaya pengurangan jejak karbon, dan mendukung penggunaan penggunaan sumber daya secara efisien, serta pengurangan jumlah limbah. Analisis *carbon footprint* mampu membantu memberikan strategi penghematan energi (Firouzian et al., 2024). Sedangkan *Eco-Efficiency*

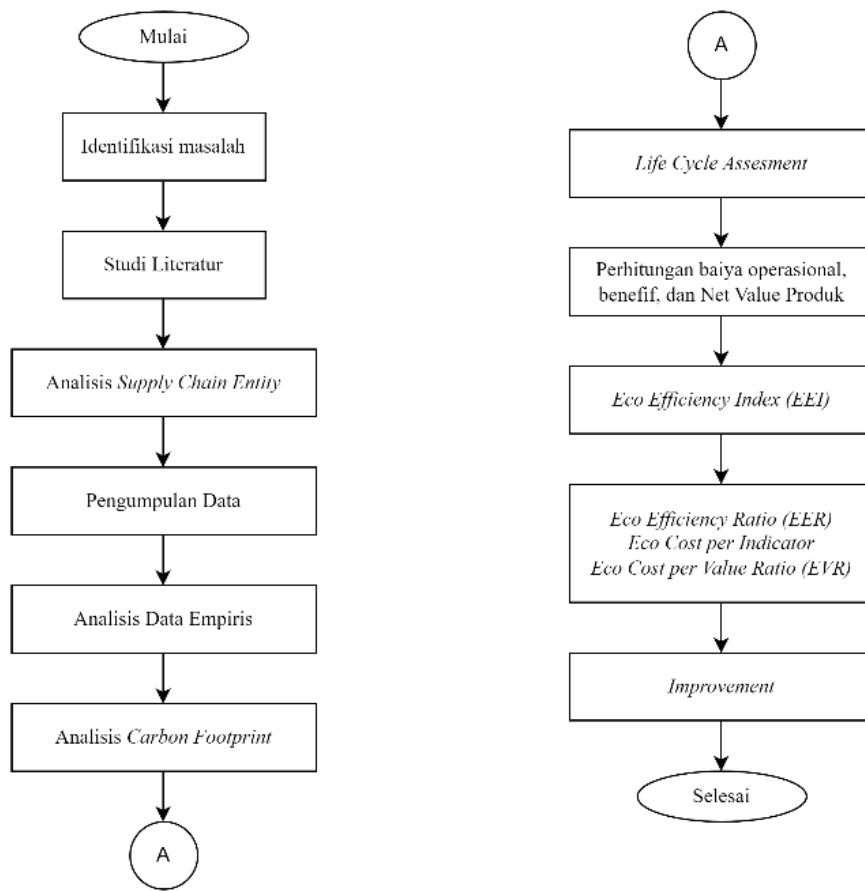
adalah cara untuk mengurangi dampak lingkungan dan menghasilkan sumber daya di sepanjang siklus hidup produk sekaligus mencapai harga yang kompetitif. Strategi ini menghasilkan suatu produk dengan kinerja yang lebih baik, menggunakan sedikit energi dan sumber daya alam yang diambil. *Eco-Efficiency* ini menggabungkan konsep efisiensi ekonomi berdasarkan prinsip efisiensi penggunaan sumber daya alam. *Eco-Efficiency* merupakan kombinasi efisiensi ekonomi dan efisiensi ekologi (Grady, 1999). Melalui perhitungan *Eco Efficiency* ini dapat diketahui besarnya keuntungan yang diperoleh dari aktivitas produksi dan pengelolaan limbah di UMKM Tempe Sukoharjo, serta dapat digunakan untuk mengetahui kuantifikasi indikator tingkat keberlanjutannya.

Penelitian ini bertujuan melakukan analisis terhadap praktik *Green Supply Chain* yang diterapkan oleh UMKM Tempe Sukoharjo pada aktivitas transportasi, produksi, dan *packaging*. *Life Cycle Assessment* pada *Software* Simapro 9.5.0 digunakan pada penelitian ini untuk mengetahui sejauh mana dampak lingkungan yang dihasilkan oleh aktivitas UMKM Tempe Sukoharjo, serta untuk mengetahui secara spesifik jenis material yang memberikan pengaruh paling besar terhadap lingkungan. Penilaian *Life Cycle Assessment* dianggap sebagai salah satu alat paling penting untuk mencapai tujuan tersebut (Scheepens et al., 2016). Limbah makanan memiliki dampak yang signifikan terhadap lingkungan, karena proses pembuatannya menggunakan energi dan karbon. 25% dari seluruh air bersih yang tersedia, setara dengan 600km³, digunakan untuk memproduksi pangan dan berakhir sebagai limbah (Sampepajung et al., 2023).

2. Metode

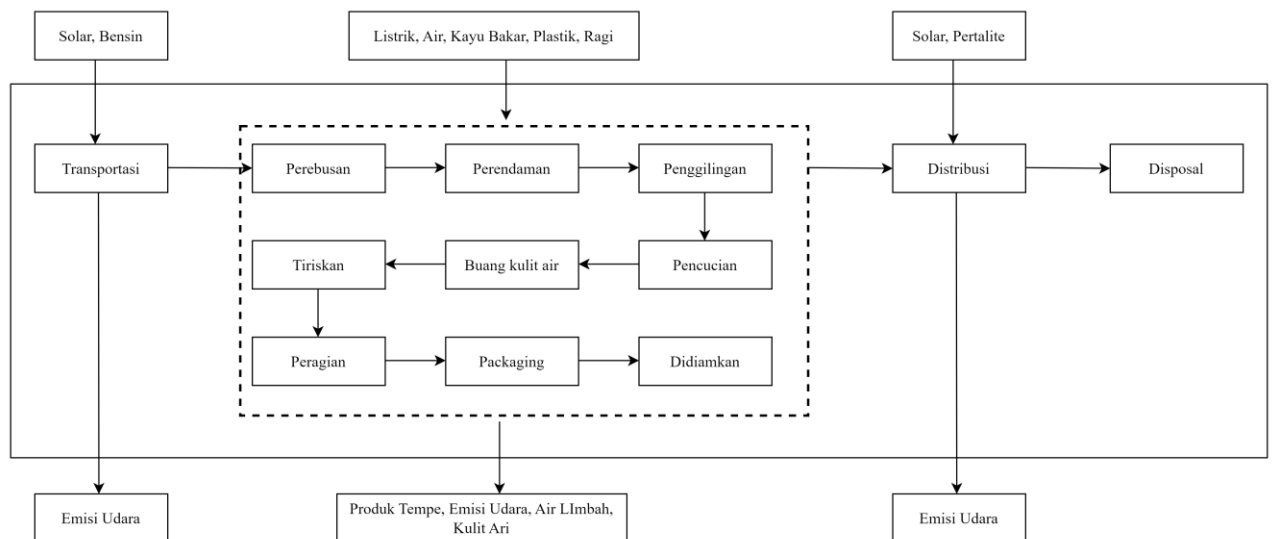
Paper ini fokus pada perhitungan emisi dari keseluruhan operasional di UMKM Tempe Sukoharjo. Selanjutnya dilakukan evaluasi menggunakan *Life Cycle Assessment dan EEI (Eco Efficiency Index)*. Melalui *paper* ini, dapat diketahui besarnya keuntungan dan tingkat keberlanjutan dari seluruh operasional di UMKM Tempe Sukoharjo, yang saat ini telah mulai menerapkan prinsip *green*. Strategi *Eco-Efficiency* ini digunakan untuk mengurangi dampak lingkungan dari setiap proses yang dilakukan di UMKM Tempe Sukoharjo. Dengan strategi ini, produk yang dihasilkan memiliki kinerja yang lebih baik dan membutuhkan lebih sedikit energi serta sumber daya alam (Grady, 1999).

Analisis *Life Cycle Assessment* adalah salah satu metode yang dapat digunakan untuk menilai dan mengetahui dampak terhadap lingkungan dari penggunaan material. Terdapat berbagai metode untuk penilaian dampak lingkungan dengan tujuan yang berbeda. Kasus ini menggunakan metode *ReCiPe* yang memungkinkan analisis secara komprehensif dari berbagai dampak lingkungan. *Life Cycle Assessment* pada penelitian ini menggunakan *cradle to grave*, artinya analisis ini dilakukan pada keseluruhan siklus dari proses produksi hingga pengolahan limbah, yang digunakan untuk mengetahui jumlah energi, biaya, dan dampak lingkungan yang disebabkan oleh tahapan produk dimulai dari pengambilan bahan baku hingga produk tersebut dikonsumsi. *Flowchart* penelitian ini disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Flowchart Penelitian

Sedangkan *scope* pada *Life Cycle Assesment* ditunjukkan dengan *System Boundary* pada Gambar 2.



Gambar 2. System Boundary

3. Hasil dan Pembahasan

Carbon Footprint

Perhitungan emisi CO₂ dari konsumsi listrik digunakan rumus di bawah ini:

$$\text{Emisi CO}_2 = \text{Faktor konversi} \times \text{Jumlah pemakaian listrik (kWh)} \times \text{NCV} \quad (1)$$

Faktor konversi yang digunakan sebesar 0,891 kg/kWh, dengan jumlah pemakaian listrik sebesar 12,25 kWh/hari, sehingga dihasilkan bahwa total emisi yang dihasilkan dari penggunaan energi listrik tersebut adalah sebesar 0,013kg CO₂/hari. UMKM Tempe Sukoharjo juga menghasilkan limbah organik. Limbah organik tersebut juga menghasilkan emisi CO₂, yang dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{Emisi CO}_2 = \text{EF} \times \text{komoditas} \quad (2)$$

Jumlah EF yang digunakan sebesar 0,374, sehingga diketahui jumlah emisi yang dihasilkan dari limbah organik yaitu sebesar 11,351kg CO₂/hari. Berdasarkan seluruh perhitungan emisi karbon di atas, maka jumlah keseluruhan karbon emisi UMKM Tempe Sukoharjo disajikan pada Tabel 1.

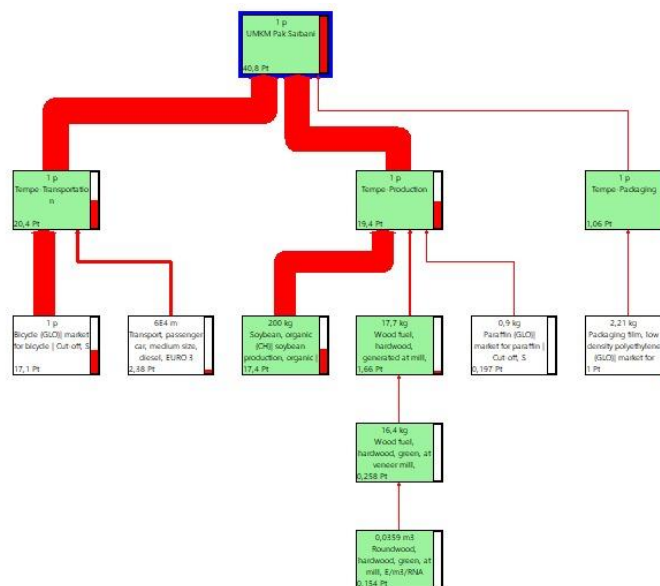
Tabel 1. Total Emisi Carbon di UMKM Tempe Sukoharjo

Jenis Emisi Karbon	Jumlah Emisi Karbon (kg CO ₂ /hari)
Konsumsi Listrik	0,013
Sampah Organik	11,351
Total	11,364

Life Cycle Assessment

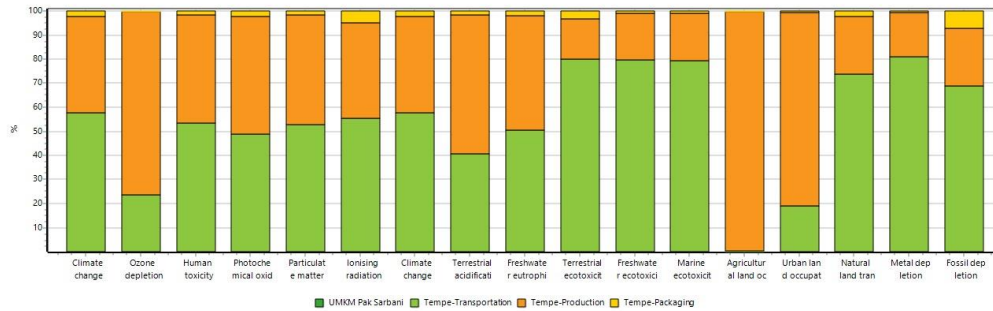
Analisis *Life Cycle Assessment* pada penelitian ini akan dilakukan pada aktivitas transportasi, produksi, dan *packaging*. Berdasarkan hasil LCA menggunakan metode *ReCiPe End point*, pada *network* kegiatan yang terdapat di UMM Tempe Sukoharjo untuk memproduksi 200kg Tempe dalam satu hari dari awal pengadaan bahan baku, produksi hingga *packaging* terlihat bahwa transportasi memberikan dampak yang dominan terhadap lingkungan.

Setelah dilakukan normalisasi data, dari tiga aspek lingkungan yaitu *Human Health, ecosystems* dan *resources* terlihat jelas bahwa memang didominasi oleh proses transportasi. Hal ini diakibatkan karena besarnya jarak tempuh pada proses distribusi. Selanjutnya dilakukan *breakdown* terhadap masing-masing proses untuk mengetahui faktor yang menghasilkan dampak lingkungan dari setiap proses yang ada.



Gambar 3. LCA Network Keseluruhan Proses Operasional UMKM Tempe Sukoharjo

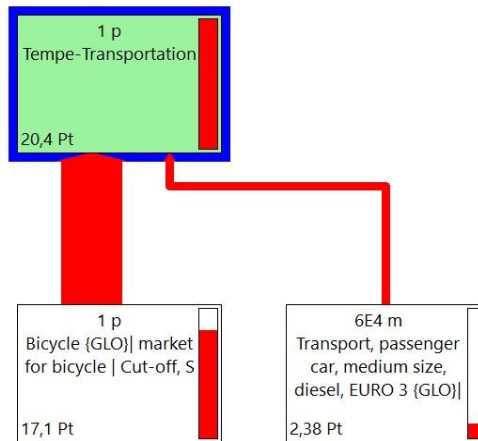
Gambar 3 menunjukkan bahwa proses *transportation* memberikan dampak yang paling signifikan. Pada proses *production* dan *packaging* juga memberikan kontribusi, tetapi dampaknya lebih kecil dari *transportation*. Hal ini mengindikasikan bahwa fokus utama untuk mengurangi dampak lingkungan ini harus diarahkan ke peningkatan efisiensi dan pengurangan emisi pada tahap *transportation*. Selanjutnya *impact assessment* dari keseluruhan proses yang terdapat di UMKM Tempe Sukoharjo disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. *Impact Assessment* Keseluruhan Proses Operasional UMKM Tempe Sukoharjo

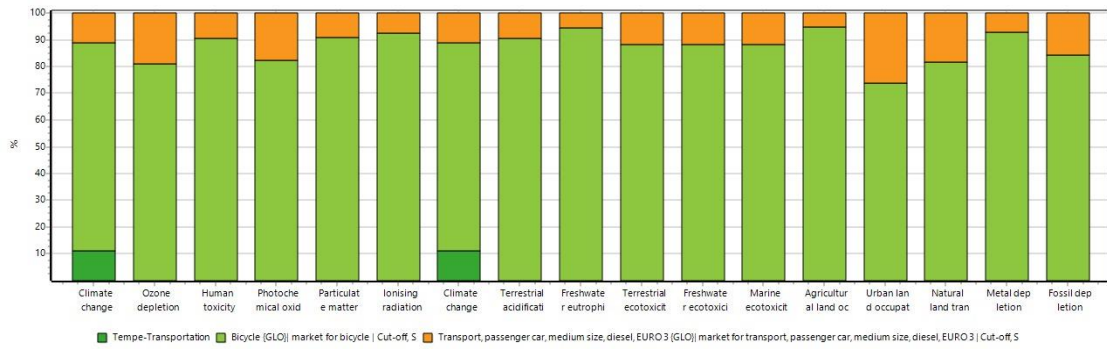
1. Life Cycle Transportation

Life Cycle Assessment pada aktivitas transportasi memainkan peran penting dalam menentukan jejak karbon sebuah produk, mulai dari pengiriman bahan baku hingga pengiriman produk jadi ke konsumen akhir. Evaluasi pada *Life Cycle Transportation* tidak hanya mempertimbangkan emisi CO₂ dari kendaraan, tetapi memperhitungkan penggunaan energi, polusi udara, dan dampak lainnya yang terkait dengan infrastruktur transportasi. *Life Cycle Transportation* pada UMKM Tempe Sukoharjo disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. *LCA Network Transportation Process* UMKM Tempe Sukoharjo

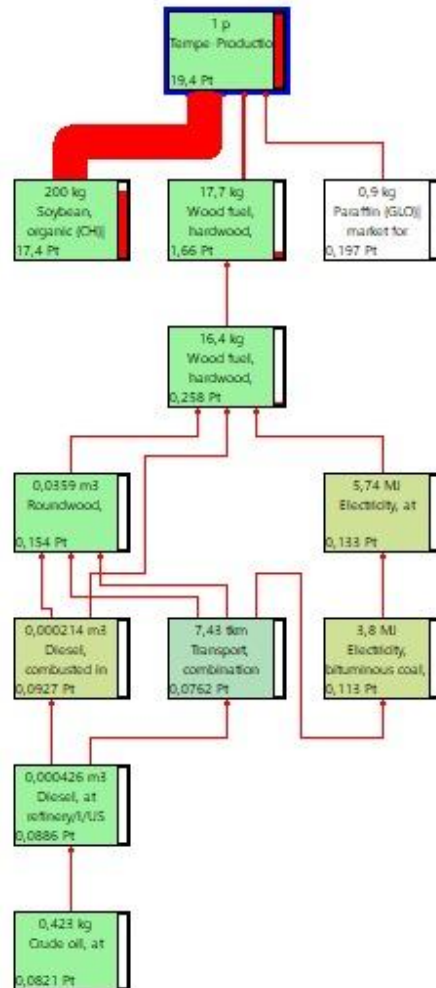
Pada Gambar 5 menunjukkan bahwa proses distribusi menggunakan motor berbahan bakar fosil mengindikasikan *environmental impact* yang paling besar pada aktivitas transportasi. Hal ini disebabkan adanya jarak yang ditempuh pada aktivitas distribusi sangat jauh, sehingga membutuhkan konsumsi bahan bakar yang lebih banyak pula. Bahan bakar merupakan faktor utama yang menentukan dampak lingkungan dari aktivitas transportasi. Penggunaan motor berbahan bakar fosil juga memberikan *Impact Assessment* yang paling besar pada aktivitas transportasi di UMKM Tempe Sukoharjo, disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Impact Assessment Transportation Process UMKM Tempe Sukoharjo

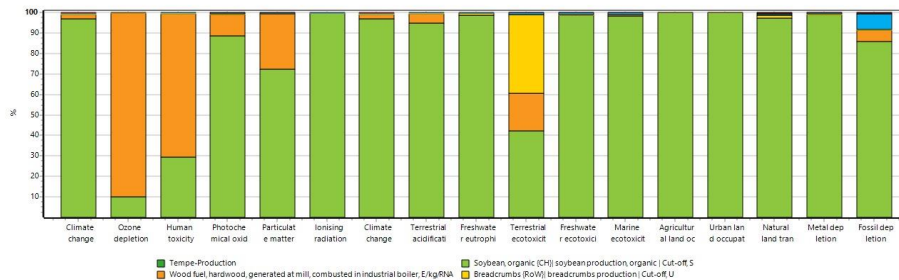
2. Life Cycle Production

Life Cycle Assessment untuk pembuatan Tempe dengan 200kg kedelai dalam 1 hari (1 siklus produksi) disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7. LCA Network Production Process UMKM Tempe Sukoharjo

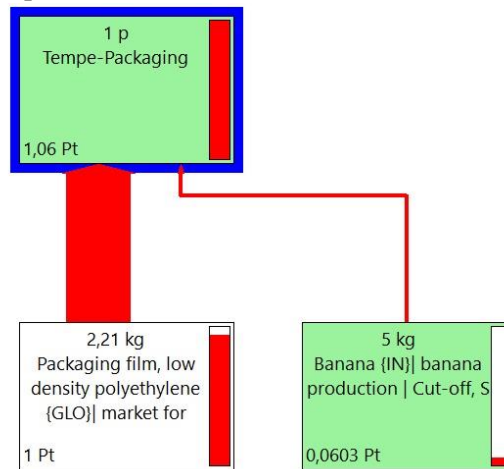
Pada Gambar 7, terlihat bahwa Kedelai memberikan kontribusi besar terhadap *environmental impact* produksi tempe. Hal ini terjadi karena Simapro mendeteksi kedelai dari cara produksinya yang membutuhkan lahan luas, pestisida, hingga penggunaan air yang signifikan. Faktor ini ditambah dengan energi dan emisi transportasi kedelai dari tempat produksinya ke tempat pengolahan, semuanya berkontribusi terhadap jejak lingkungan yang besar dalam produksi tempe. *Impact Assessment* pada proses ini disajikan pada Gambar 8.



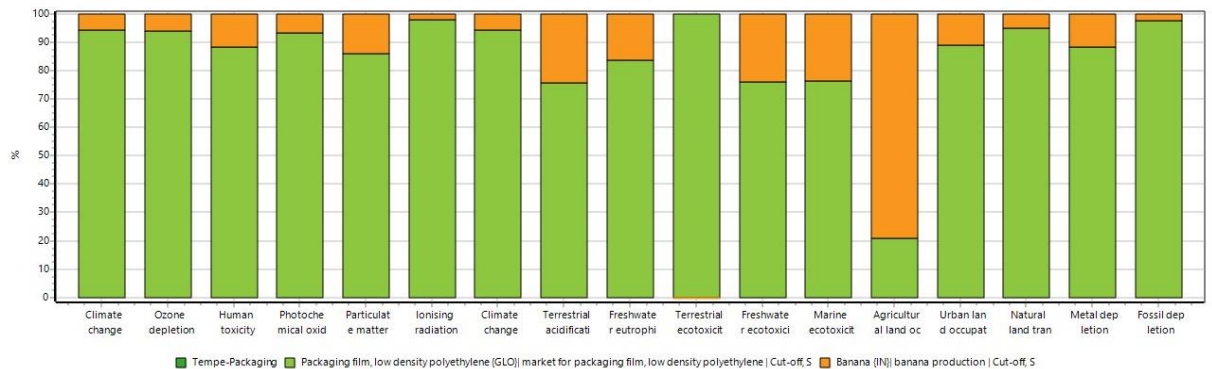
Gambar 8. Impact Assessment Production Process UMKM Tempe Sukoharjo

1. Life Cycle Packaging

Life Cycle Packaging yang digunakan pada UMKM Tempe Sukoharjo adalah plastik dan daun pisang, yang ditunjukkan pada LCA di bawah ini.



Gambar 9. LCA Network Packaging Process UMKM Tempe Sukoharjo



Gambar 10. Impact Assessment Packaging Process UMKM Tempe Sukoharjo

Gambar 9 dan Gambar 10 menunjukkan bahwa penggunaan plastik *Polyethylene*, yaitu plastik yang biasa digunakan untuk kemasan Tempe memberikan kontribusi signifikan terhadap *environmental impact*. Sedangkan kontribusi daun pisang terhadap *environmental impact* kemasan tempe sangat kecil.

Eco-Efficiency

1. Eco-Cost Resource

Eco-costs resources memberikan gambaran mengenai biaya ekologis yang diakibatkan oleh penggunaan sumber daya pada proses produksi. Nilai ini menunjukkan bahwa setiap

kilogram bahan yang digunakan memiliki kontribusi terhadap biaya lingkungan yang harus diperhitungkan dalam upaya mencapai produksi yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan. Analisis ini penting untuk mengidentifikasi area-area dalam proses produksi yang memerlukan perhatian khusus guna mengurangi dampak lingkungan secara keseluruhan.

Eco-Cost Resource dihitung menggunakan formula berikut:

$$\text{Eco-costs Resources} = \text{Resources} \times 0,00411 \times 17647,35 \text{ rupiah (euro to idr)} \quad (3)$$

Sehingga total eco-costs resources dari seluruh jenis proses di UMKM Tempe Sukoharjo adalah Rp2.201,30.

2. Net Present Value (NPV)

Net Present Value (NPV) adalah suatu metode yang digunakan untuk mengevaluasi kelayakan ekonomi dari sebuah investasi. NPV dihitung dengan menggunakan formula:

$$\text{NPV} = \text{Harga jual} - \text{Harga pokok produksi} \quad (4)$$

Berdasarkan formula di atas, maka dapat diketahui bahwa keseluruhan NPV untuk semua produk di UMKM Tempe Sukoharjo senilai Rp9.750,00. Total NPV sebesar Rp9.750,00 menunjukkan potensi keuntungan yang dapat diperoleh dari keseluruhan produk tersebut.

$$\text{EEI} = (\text{Price} - \text{Cost}) / (\text{Cost} + \text{Eco Cost}) \quad (5)$$

Di bawah ini adalah data EEI untuk masing-masing produk dan penjelasan mengenai indikator yang digunakan.

Tabel 2. EEI Produk di UMKM Tempe Sukoharjo

Produk	EEI	Indicator	
Tempe pendek	0,762	<i>Affordable</i>	<i>Not Sustainable</i>
Tempe panjang	1,087	<i>Affordable</i>	<i>Not Sustainable</i>
Tempe Besar Panjang	1,087	<i>Affordable</i>	<i>Not Sustainable</i>

Berdasarkan tabel di atas, diketahui bahwa seluruh produk memiliki nilai EEI antara 0 dan 1. Berdasarkan indikator yang diberikan, produk dengan nilai EEI dalam rentang ini (0-1) tergolong dalam kategori "*Affordable, Not Sustainable*". Hal ini menunjukkan bahwa produk-produk tersebut terjangkau dari segi biaya, tetapi tidak berkelanjutan dalam jangka panjang karena masih memiliki dampak ekologis yang signifikan.

3. Eco-Cost Value Ratio (EVR)

Eco-costs Value Ratio (EVR) adalah indikator yang digunakan untuk mengukur biaya lingkungan relatif terhadap nilai ekonomi suatu produk. EVR dihitung dengan rumus berikut:

$$\text{EVR} = \text{Eco cost} / \text{Net Present Value} \quad (6)$$

Produk dengan nilai EVR yang lebih rendah menunjukkan bahwa biaya lingkungan relatif lebih kecil dibandingkan dengan nilai ekonomis yang dihasilkan, sehingga produk tersebut lebih efisien secara ekologis. Nilai EVR pada masing-masing produk disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai EVR Produk UMKM Tempe Sukoharjo

Produk	EVR
Tempe pendek	0,978
Tempe panjang	0,587
Tempe Besar Panjang	0,587

Berdasarkan tabel di atas, diketahui bahwa Tempe Pendek memiliki nilai EVR sebesar 0,978 menunjukkan bahwa produk ini kurang efisien secara ekologis. Sedangkan Tempe panjang dan Tempe Besar Panjang keduanya memiliki nilai EVR yang sama, yaitu 0,587 menunjukkan bahwa biaya lingkungan relatif lebih kecil dibandingkan dengan nilai ekonomis yang dihasilkan, menjadikan kedua produk ini lebih efisien secara ekologis dibandingkan dengan Tempe pendek. Efisiensi yang lebih tinggi pada Tempe panjang dan Tempe Besar Panjang menandakan bahwa kedua produk ini lebih baik dalam mengurangi dampak lingkungan, serta mampu memberikan nilai ekonomis yang signifikan

4. *Eco-Efficiency Ratio (EER)*

Eco-Efficiency Ratio (EER) adalah indikator yang menunjukkan seberapa efisien sebuah produk dalam memanfaatkan sumber daya dan mengurangi dampak lingkungan relatif terhadap nilai ekonomisnya. EER dihitung dengan rumus berikut:

$$EER = (1 - EVR) \times 100\% \quad (7)$$

Produk dengan nilai EER yang lebih tinggi menunjukkan efisiensi yang lebih baik dalam hal meminimalkan dampak lingkungan serta tetap memberikan nilai ekonomis yang signifikan. Nilai EER pada masing-masing produk disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai EER Produk UMKM Tempe Sukoharjo

Produk	EER
Tempe pendek	2%
Tempe panjang	41%
Tempe Besar Panjang	41%

Berdasarkan hasil perhitungan, Tempe Pendek memiliki nilai EER sebesar 2% yang menunjukkan bahwa produk ini memiliki efisiensi lingkungan yang kurang baik, sedangkan produk Tempe Panjang dan Tempe Besar Panjang memiliki nilai EER sebesar 41% yang menunjukkan bahwa produk ini memiliki efisiensi lingkungan yang cukup baik daripada Tempe Pendek.

Improvement

1. *Transportation*

Melalui analisis *Life Cycle Assessment* pada proses transportasi dalam pengadaan bahan baku maupun proses distribusi UMKM Tempe Sukoharjo, diketahui bahwa proses ini yang memberikan dampak terbesar bagi lingkungan. Sehingga perlu dilakukan *improvement* untuk mengurangi *environmental impact*. Perbaikan yang dapat dilakukan adalah menerapkan sistem *inventory* setidaknya untuk menampung bahan baku dalam 3 bulan, sehingga emisi yang timbul akan berkurang setengah dari emisi pada kondisi eksisting, di mana pada saat ini UKM Tempe Sukoharjo melakukan pembelian bahan baku sebulan sekali.

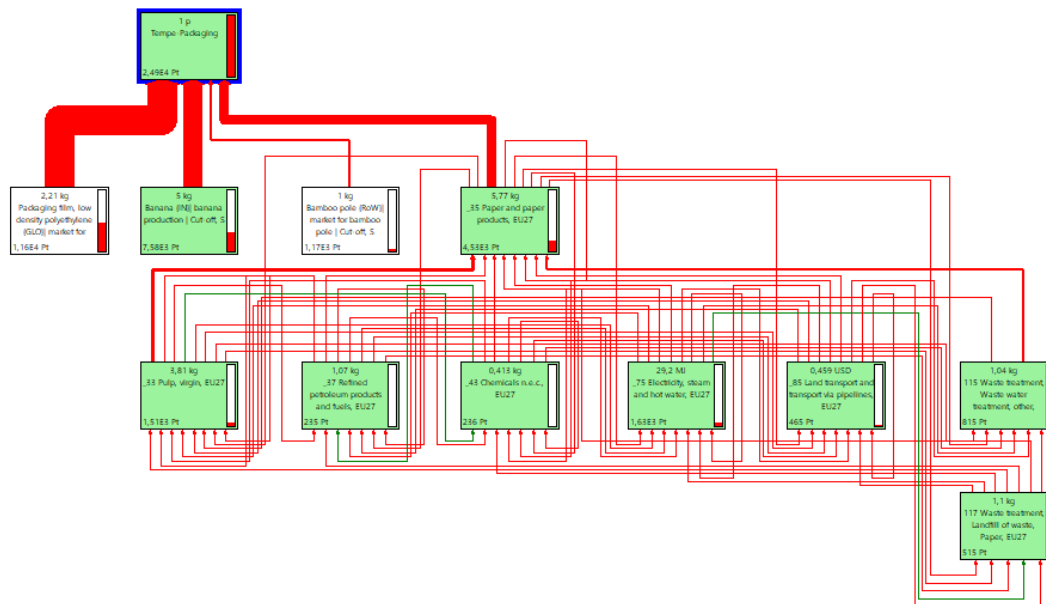
Untuk memastikan penyimpanan kedelai tetap awet dan berkualitas baik untuk produksi tempe, harus dilakukan penyimpanan di tempat yang kering. Selain itu dapat menggunakan wadah kedap udara seperti drum plastik atau wadah logam dengan tutup rapat untuk mencegah masuknya kelembaban dan hama. Selain itu, kedelai juga harus dilakukan pemeriksaan secara berkala untuk memastikan tidak ada tanda-tanda kerusakan atau hama, sehingga kedelai tetap layak digunakan untuk produksi tempe.

2. *Life Cycle Improvement (Packaging)*

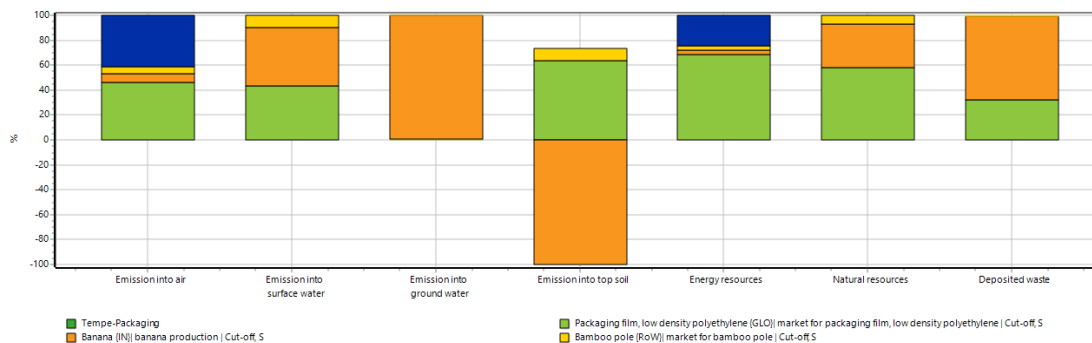
Packaging juga memberikan *environmental impact* yang cukup besar, meskipun tidak terlalu signifikan dibandingkan dengan proses transportasi. Penulis memberikan *improvement* dengan mengganti kemasan tempe yang semula menggunakan *plastic Polyethylene*, diganti

dengan menggunakan daun jati (bagian dalam), daun pisang (bagian luar), lalu diikat menggunakan tali yang terbuat dari potongan bambu.

Penggunaan daun pisang dan daun jati dinilai lebih berkelanjutan karena keduanya merupakan bahan alami yang mudah terurai dan ramah lingkungan, dibandingkan dengan pembungkus plastik yang sulit terurai. Daun pisang dan daun jati juga dapat diperoleh secara lokal, mengurangi jejak karbon yang terkait dengan transportasi bahan baku. Selain itu, keduanya berasal dari tanaman yang cepat tumbuh dan mudah diperbarui, memastikan ketersediaan yang berkelanjutan. Penggunaan daun pisang dan daun jati yang lebih ramah lingkungan dibuktikan dengan analisis *Life Cycle Assessment* berikut.



Gambar 11. *Improvement* pada Temasan Tempe



Gambar 12. *Impact Assessment* pada *Improvement* Temasan Tempe

Gambar 11 dan Gambar 12 menunjukkan bahwa penggunaan daun jati, daun pisang, dan ikat bamboo lebih ramah lingkungan dibandingkan penggunaan plastik *Polyethylene*. Penggunaan material ini mendukung adanya rantai pasok yang berkelanjutan, sebab menggunakan bahan yang mudah diperbarui serta mudah diuraikan pada lingkungan.

4. Simpulan

UMKM Tempe Sukoharjo memiliki 3 aktivitas utama, yaitu transportasi, produksi, dan *packaging*. Proses transportasi terjadi pada aktivitas pembelian bahan baku, maupun proses distribusi pada saat penjualan tempe. UMKM Tempe Sukoharjo melakukan pembelian bahan baku di Pasar Legi Solo menggunakan kendaraan Colt L300 berbahan bakar solar, serta proses distribusi menggunakan motor berbahan bakar bensin. Aktivitas UMKM Tempe Sukoharjo

selanjutnya adalah proses produksi, yang menggunakan bahan baku sejumlah 200kg kedelai per hari. Analisis menggunakan *Life Cycle Assessment* menunjukkan bahwa proses *transportation* memberikan dampak yang paling signifikan. Evaluasi *Life Cycle Assessment transportation* tidak hanya mempertimbangkan emisi CO₂ dari kendaraan, tetapi memperhitungkan penggunaan energi, polusi udara, dan dampak lainnya yang terkait dengan infrastruktur transportasi.

Hasil *Life Cycle Assessment* menunjukkan bahwa proses distribusi menggunakan motor berbahan bakar fosil mengindikasikan *environmental impact* yang paling besar pada aktivitas transportasi. Hal ini disebabkan adanya jarak yang ditempuh pada aktivitas distribusi sangat jauh, sehingga membutuhkan konsumsi bahan bakar yang lebih banyak pula. Bahan bakar merupakan faktor utama yang menentukan dampak lingkungan dari aktivitas transportasi. Selanjutnya pada perhitungan *Eco Efficiency Index (EEI)*, Seluruh produk di UMKM Tempe Sukoharjo memiliki nilai EEI antara 0 dan 1. Berdasarkan indikator yang diberikan, produk dengan nilai EEI dalam rentang ini (0-1) tergolong dalam kategori "*Affordable, Not Sustainable*". Ini menunjukkan bahwa produk-produk tersebut terjangkau dari segi biaya, tetapi tidak berkelanjutan dalam jangka panjang karena masih memiliki dampak ekologis yang signifikan.

Penulis memberikan *improvement* pada proses transportasi dan *packaging*. Perbaikan pada proses *transportation* adalah menerapkan sistem *inventory* setidaknya untuk menampung bahan baku dalam 3 bulan, sehingga emisi yang timbul akan berkurang setengah dari emisi pada kondisi eksisting, Selanjutnya pada proses *packaging*, memberikan *improvement* dengan mengganti kemasan tempe yang semula menggunakan *plastic Polyethylene*, diganti dengan menggunakan daun jati (bagian dalam), daun pisang (bagian luar), lalu diikat menggunakan tali yang terbuat dari potongan bambu. Hal ini dinilai lebih berkelanjutan, serta mendukung adanya rantai pasok yang berkelanjutan, sebab menggunakan bahan yang mudah diperbarui serta mudah diuraikan pada lingkungan

Daftar Pustaka

- Amjad, M. S., McCleary, D., Nagaraj, S., & Diaz-Elsayed, N. (2023). Integrating Carbon Credits with Life Cycle Costing for Economic Sustainability in SMEs. *Procedia CIRP*, 116, 672–677. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2023.02.113>
- Besné, A. G., Luna, D., Cobos, A., Lameiras, D., Ortiz-Moreno, H., & Güereca, L. P. (2018). A methodological framework of eco-efficiency based on fuzzy logic and Life Cycle Assessment applied to a Mexican SME. *Environmental Impact Assessment Review*, 68, 38–48. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2017.10.008>
- Carissimi, M. C., Creazza, A., Fontanella Pisa, M., & Urbinati, A. (2023). Circular Economy practices enabling Circular Supply Chains: An empirical analysis of 100 SMEs in Italy. *Resources, Conservation and Recycling*, 198, 107126. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107126>
- Chirsanova, A., & Calcatiniuc, D. (2021). the Impact of Food Waste and Ways To Minimize It. *Journal of Social Sciences*, IV(1)(March). [https://doi.org/10.52326/jss.utm.2021.4\(1\).15](https://doi.org/10.52326/jss.utm.2021.4(1).15)
- Daddi, T., Nucci, B., & Iraldo, F. (2017). Using Life Cycle Assessment (LCA) to measure the environmental bene fi ts of industrial symbiosis in an industrial cluster of SMEs. *Journal of Cleaner Production*, 147, 157–164. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.090>
- Firouzian, M., Stenstrom, M. K., & Rosso, D. (2024). Detailed analysis of upgrading a water resource recovery facility to nitrogen removal: Dynamic quantification of power demand, carbon footprint, and operating cost benefits. *Journal of Water Process Engineering*, 63, 105427. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.105427>
- Grady, K. (1999). *Eco-Efficiency: The New Business Imperative*. https://books.google.co.id/books?id=D9_YDwAAQBAJ&pg=PA369&lpg=PA369&dq=Pr

- awirohardjo,+Sarwono.+2010.+Buku+Acuan+Nasional+Pelayanan+Kesehatan++Maternal
+dan+Neonatal.+Jakarta+:+PT+Bina+Pustaka+Sarwono+Prawirohardjo.&source=bl&ots=
riWNmMFyEq&sig=ACfU3U0HyN3I
- Idrees, Z., & Zheng, L. (2020). Low Cost Air Pollution Monitoring Systems: A Review
Protocols and Enabling Technologies. *Journal of Industrial Information Integration*, 17.
- IPCC. (2006). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. *IGES, Japan*, 1.
- Kane, G. C., Palmer, D., Phillips, A. N., Kiron, D., & Buckley, N. (2017). Achieving Digital
Maturity” MIT Sloan Management Review and Deloitte University Press. *MIT Sloan
Management Review, Summer*, 5,6.
- Kementerian Koperasi dan UKM. (2023). Perekonomian Nasional Meningkatkan. *Kementerian
Keuangan RI*.
- Primasanti, Y., & Aryani, A. (2022). Analisis Asap dan Eisi Gas Buang Bus bagi Kesehatan
Petugas Ticketing Halte. *Jurnal Informasi Kesehatan Indonesia*.
<https://doi.org/10.31857/s013116462104007x>
- Purwaningsih, R., Simanjuntak, C. F., & Rosyada, Z. F. (2020). Eco-Efficiency Ratio of Pencil
Production Using Life Cycle Assessment for Increasing the Manufacture Sustainability.
Jurnal Teknik Industri, 22. <https://doi.org/10.9744/jti.22.1.47-54>
- Sampepajung, D. C., Sarniati, Rifai, M., & Afifah, N. (2023). Analisis Carbon Footprint Pada
Umkm Makanan Dan Minuman Melalui Integrasi Lean Dan Green Waste Production.
Jurnal Bisnis, Manajemen Dan Informatik (JBMI), 19(3), 223–255.
<https://doi.org/10.26487/jbmi.v19i3.22302>
- Scheepens, A. E., Vogtländer, J. G., & Brezet, J. C. (2016). Two life cycle assessment (LCA)
based methods to analyse and design complex (regional) circular economy systems. Case:
Making water tourism more sustainable. *Journal of Cleaner Production*, 114, 257–268.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.075>
- Setiawan, V. N. (2022). Bukti Pakai Motor Listrik Lebih Irit Ketimbang Motor BBM. *CNBC
Indonesia*.
- Supriatna, D., Candra, E., Adinugroho, I., Nasution, M. A., & Yanti, N. (2023). Pengaruh
Kinerja UMKM Terhadap Pertumbuhan Ekonomi Kabupaten Sukabumi. *Sanskara
Ekonomi Dan Kewirausahaan*, 1, 43–53. <https://doi.org/10.58812/sek.v1i02.88>
- Walia, B., & Sanders, S. (2019). Curbing food waste: A review of recent policy and action in
the USA. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 34(2), 169–177.
- Winter, M., Dopler, S., Müller, J. M., & Zeisler, A. (2023). Information sharing and multi-tier
supply chain management of SMEs in the context of Industry 4.0. *Procedia Computer
Science*, 217, 1378–1385. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.12.336>
- Zimmermann, R., Soares, A., & Roca, J. B. (2024). The moderator effect of balance of power
on the relationships between the adoption of digital technologies in supply chain
management processes and innovation performance in SMEs. *Industrial Marketing
Management*, 118(August 2023), 44–55. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2024.02.004>

Evaluasi Lingkungan Kerja Fisik dan Postur Kerja untuk Meningkatkan Kenyamanan Membaca di Perpustakaan XYZ

Felix Rasyada Rafif^{*1)}, Ridho Muzaik Ramadhan²⁾, Lulu Riesta Nugroho³⁾, Zahara Intan Wigathie⁴⁾, Chancard Basumerda⁵⁾

Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia, Jalan Kaliurang 14,5 , Sleman, Yogyakarta, 5584, Indonesia
Email: 22522038@students.uii.ac.id

ABSTRAK

Perpustakaan yang mempunyai tingkat pencahayaan yang baik dan suhu sesuai standar dapat membuat pembaca merasa betah ketika sedang membaca buku. Selain itu, postur tubuh yang baik pada saat membaca juga meningkatkan kenyamanan dan juga produktivitas. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur pencahayaan, suhu, dan postur tubuh pembaca pada perpustakaan XYZ. Pencahayaan, suhu, serta postur tubuh yang buruk dapat mengakibatkan gangguan fisik seperti kepala yang terasa pusing dan gangguan MSDs dikarenakan berada pada posisi diam dalam jangka waktu yang lama. Pengukuran pencahayaan dan suhu menggunakan alat bernama *5 in 1 envirometer* dan pengukuran postur tubuh menggunakan metode RULA. Hasil penelitian yang didapat adalah rata-rata tingkat pencahayaan sebesar 122,65 Lux, suhu sebesar 25,04°C, dan skor RULA sebesar 4 untuk responden 1, 5 untuk responden 2 dan 3. Tingkat pencahayaan sebesar 122,65 Lux masih di bawah standar pencahayaan menurut KEPMENKES untuk kegiatan membaca. Kemudian, skor postur tubuh masuk ke dalam kategori perlu perbaikan sehingga diperlukan rekomendasi.

Kata kunci: Lingkungan kerja fisik; Suhu; Pencahayaan; Perpustakaan; Postur kerja; RULA

1. Pendahuluan

Di era globalisasi, Indonesia sedang berusaha untuk meningkatkan kualitas sumber daya manusia. Pengembangan minat dan kebiasaan membaca merupakan salah satu upaya untuk meningkatkan kualitas sumber daya manusia. Berdasarkan fakta tersebut, perpustakaan diharapkan dapat menjadi pusat pengembangan minat dan kebiasaan membaca. Perpustakaan bertugas meningkatkan dan membina minat dan kegemaran membaca. Hal ini dilatarbelakangi oleh peran dan fungsi perpustakaan sebagai pusat pengembangan kecintaan membaca.

Mengutip data Badan Pusat Statistik tahun 2023 disebutkan di mana tingkat kegemaran membaca masyarakat Indonesia secara keseluruhan berada di angka 66,77 dengan frekuensi membaca sebanyak 5 kali/minggu dan durasi membaca sebesar 1 jam 47 menit. Berdasarkan data tersebut, tentunya perpustakaan yang ada di Indonesia dapat terus meningkatkan minat baca masyarakat Indonesia dengan cara memberikan fasilitas yang aman dan nyaman seperti memiliki pencahayaan yang baik dan suhu yang ideal. Pencahayaan yang baik dan suhu yang ideal merupakan salah satu faktor penting dalam meningkatkan kenyamanan membaca.

Selain pencahayaan dan suhu ideal yang dapat memberikan rasa aman dan nyaman, postur kerja pengunjung perpustakaan perlu diperhatikan. Pada dasarnya, pengunjung perpustakaan menetap dalam posisi duduk dengan durasi yang lama. Keadaan tersebut dapat berdampak negatif pada tingkat produktivitas dan performansi kerja (Cahyani, Hasan, & Rumastika, 2020). Oleh karena itu, untuk mengantisipasi terjadinya cedera seperti *Musculoskeletal* pada pengunjung perpustakaan, setiap perpustakaan harus memperhatikan kenyamanan pengunjung itu sendiri.

Pada Perpustakaan XYZ yang berlokasi di Yogyakarta, berdasarkan hasil observasi yang sudah dilakukan, terlihat bahwa kualitas pencahayaan yang dimiliki oleh perpustakaan XYZ masih tergolong buruk. Hal ini dikarenakan penyebaran lampu yang tidak merata dan besarnya intensitas cahaya yang masih di bawah standar yang sudah ditentukan. Sehingga, tingkat pencahayaan yang terdapat pada perpustakaan XYZ dapat dikatakan tidak terlalu terang. Jika

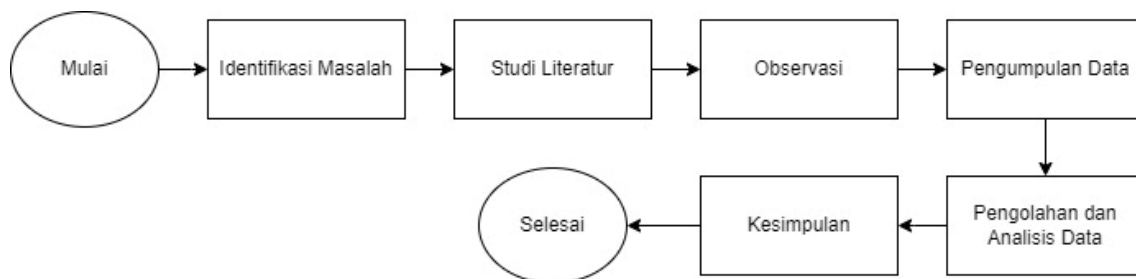
dibiarkan, maka akan berdampak pada penglihatan dari pembaca yang berada di perpustakaan tersebut. Penelitian yang dilakukan oleh (Putra, Nugraha, & Herwanto, 2021) mengatakan bahwa intensitas cahaya yang rendah dapat mengakibatkan mata menjadi cepat lelah saat sedang membaca karena mata akan berusaha untuk melihat dengan dibuka secara lebar-lebar. Selain itu, kelelahan mata juga dapat mengakibatkan kelelahan mental dan bahkan dapat menimbulkan kerusakan pada mata. Selain pencahayaan, suhu yang terdapat pada perpustakaan XYZ juga terlalu dingin. Sebenarnya, ukuran suhu yang terdapat pada perpustakaan XYZ sudah cukup ideal, akan tetapi penempatan AC (*Air Conditioner*) yang terdapat pada perpustakaan tersebut kurang tepat. AC (*Air Conditioner*) memiliki jarak yang sangat dekat dengan kursi pembaca dan posisinya langsung mengarah ke kursi pembaca. Hal ini mengakibatkan pembaca merasa kedinginan yang akan berdampak pada penurunan kinerja otak dan tingkat fokus saat membaca buku.

Selain itu, beberapa pembaca terkadang mengalami keluhan rasa sakit pada bagian punggung dikarenakan terlalu lama berada dalam posisi diam ketika sedang membaca buku. Sehingga, pada penelitian ini bertujuan untuk melakukan pengukuran intensitas cahaya, suhu, dan postur kerja serta memberikan rekomendasi untuk meningkatkan kenyamanan pembaca di Perpustakaan XYZ. Pengukuran intensitas cahaya dan suhu dilakukan dengan menggunakan alat bernama *5 in 1 envirometer*. Kemudian, pengukuran postur tubuh responden pada saat membaca menggunakan metode RULA (*Rapid Upper Limb Assesment*).

2. Metode

2.1. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan pada sebuah perpustakaan XYZ yang terletak di Kota Yogyakarta. Pengumpulan data dilakukan dengan mengukur suhu dan pencahayaan menggunakan alat *5 in 1 envirometer* serta dengan mengambil gambar dari postur tubuh 3 pengunjung ketika sedang membaca menggunakan kamera *handphone* yang nantinya akan dianalisis menggunakan metode RULA (*Rapid Upper Limb Assesment*). Berikut merupakan gambar dari alur penelitian:



Gambar 1 Alur Penelitian

Berikut merupakan penjelasan dari tahapan alur penelitian kali ini:

a. Identifikasi Masalah

Mengidentifikasi masalah yang akan dijadikan latar belakang dari penelitian yang akan dilakukan.

b. Studi Literatur

Peneliti melakukan studi literatur tentang pengaruh lingkungan kerja fisik terhadap suatu ruangan dan metode RULA (*Rapid Upper Limb Assesment*) melalui buku, jurnal, atau publikasi lain.

c. Observasi

Peneliti melakukan observasi di Perpustakaan XYZ. Peneliti mengamati kondisi ruangan yang terdapat pada perpustakaan XYZ, kemudian, berdasarkan hasil pengamatan, peneliti mendapati permasalahan yang sudah dirancang.

d. Pengumpulan Data

Peneliti mengumpulkan data berupa intensitas cahaya, suhu, dan postur tubuh dari ketiga responden. Intensitas cahaya dan suhu diukur menggunakan alat bernama *5 in 1 envirometer*. Alat *5 in 1 envirometer* dapat digunakan untuk mengukur 5 parameter yaitu kebisingan, suhu, intensitas cahaya, sirkulasi udara, dan kelembaban. Kelima parameter tersebut dapat dilihat hasilnya dalam satu LCD yang terdapat pada alat *5 in 1 envirometer*. Pada pengukuran intensitas cahaya, peneliti menggunakan luxmeter. Kabel yang terdapat pada alat *luxmeter* disambungkan ke *port light* yang terdapat pada alat *5 in 1 envirometer*. Kemudian, hasil pengukuran intensitas cahaya dapat dilihat pada tampilan LCD *5 in 1 envirometer*. Pada pengukuran suhu, peneliti menggunakan alat termometer. Kabel yang terdapat pada termometer disambungkan ke *port Rh% temperature*. Kemudian, hasil pengukurannya dapat dilihat pada tampilan LCD *5 in 1 envirometer*. Untuk mengganti tampilan intensitas cahaya menjadi tampilan suhu, dapat ditekan tombol *Light Rh% Sound Flow*. Setelah itu, peneliti mengambil gambar postur tubuh dari ketiga responden yang sedang membaca menggunakan *handphone* dan nantinya akan dianalisis menggunakan metode RULA (*Rapid Upper Limb Assesment*).

e. Pengolahan dan Analisis Data

Peneliti melakukan pengolahan data intensitas cahaya dan suhu dengan membandingkan intensitas cahaya dan suhu yang ideal pada saat membaca. Selain itu, peneliti juga menghitung banyaknya lampu yang seharusnya terdapat pada perpustakaan tersebut. Kemudian, pada pengolahan postur tubuh, peneliti menggunakan perangkat lunak bernama Anglemeter untuk menentukan sudut-sudut segmen tubuh responden. Setelah itu, peneliti menggunakan perangkat lunak bernama ErgoFellow untuk menentukan skor RULA (*Rapid Upper Limb Assesment*) yang diperoleh responden tersebut. Terakhir, peneliti menganalisis hasil pengukuran yang sudah didapat.

f. Kesimpulan

Kesimpulan yang diberikan berdasarkan tujuan penelitian dan hasil penelitian yang sudah didapat.

2.2. Lingkungan Kerja Fisik

Lingkungan Kerja Fisik adalah seluruh keadaan yang berbentuk fisik. Keadaan ini dapat ditemui di sekitar tempat kerja yang dapat mempengaruhi kinerja dan produktivitas pegawai baik secara langsung maupun tidak langsung. (Kurniati & Jaenab, 2020). Berikut ini merupakan beberapa faktor yang mempengaruhi lingkungan kerja fisik beserta penjelasannya:

1. Pencahayaan

Pencahayaan pada suatu ruangan merupakan salah satu aspek penting yang dapat meningkatkan dan mendukung kinerja penggunanya (Fleta, 2021). Adapun tingkat pencahayaan yang telah ditentukan oleh keputusan Kepmenkes RI NO.261/MENKES/SK/II/199 bahwa nilai ambang batas bagi ruangan yang digunakan untuk aktivitas membaca adalah 300 Lux. Intensitas cahaya dapat diukur menggunakan alat yang bernama *luxmeter*. *Luxmeter* merupakan alat yang digunakan untuk mengukur besar intensitas cahaya pada suatu ruangan (Manik, Muslimin, & A.Sugban, 2020)

2. Suhu

Suhu adalah besaran yang menyatakan derajat panas dingin suatu benda dan alat yang digunakan untuk mengukur suhu adalah *thermometer*. Dalam kehidupan sehari-hari masyarakat untuk mengukur suhu cenderung menggunakan indra peraba. (Indarwati, Bondan, & Darmanto, 2019). Menurut Sukoco (2007:219), temperatur ideal yang digunakan pada ruang kantor adalah 23-24°C dari temperatur di luar ruangan. Suhu udara yang nyaman bagi sebagian besar pekerja sebesar 25,6°C dengan nilai kelembaban sebesar 45% (Lestary & Harmon, 2017). Suhu suatu ruangan dapat diukur menggunakan alat yang bernama termometer. Termometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur suhu suatu ruangan atau benda (Prihandono, 2021).s

2.3. RULA (*Rapid Upper Limb Assesment*)

RULA yang bertujuan untuk melakukan perhitungan dan analisis terhadap tubuh manusia bagian atas. Hasilnya adalah tingkat keputusan yang menggambarkan urgensi tindakan yang harus diambil. Proses yang terdapat pada RULA melibatkan perbandingan sudut yang dihasilkan oleh postur tubuh subjek dengan beban di atas meja (Kurnia & Sobirin, 2020). RULA dapat dilakukan dengan dua cara yaitu menggunakan RULA *spreadsheet* atau menggunakan perangkat lunak bernama ErgoFellow. Kedua cara tersebut memiliki *output* yang sama yaitu hasil skor RULA. Skor akhir RULA (C) didapat setelah menentukan skor tabel A dan skor tabel B. Pada tabel A, segmen tubuh yang dianalisis adalah lengan atas, lengan bawah, dan pergelangan tangan sementara pada tabel B, segmen tubuh yang dianalisis adalah leher dan punggung. Setelah mendapatkan skor akhir RULA, maka dapat diketahui hasil kategori risiko yang didapat. Berikut merupakan tabel kategori risiko pada RULA:

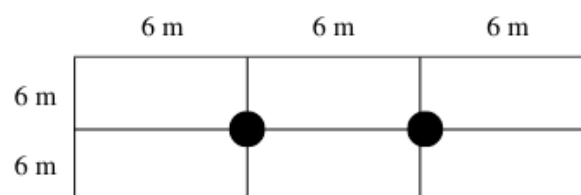
Tabel 1 Kategori Risiko Metode RULA

Score RULA	Kategori	Level Tindakan	Tindakan
1 – 2	Rendah	0	Tidak Perlu
3 – 4	Sedang	1	Perubahan Diperlukan
5 – 6	Tinggi	2	Penanganan Lebih Lanjut
7+	Sangat Tinggi	3	Perubahan Sekarang

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengukuran Pencahayaan pada *Layout* Perpustakaan XYZ

Ukuran ruangan perpustakaan XYZ adalah 12 x 18 m², nilai tersebut didapat dengan diukur menggunakan meteran gulung. Kemudian, data-data didapatkan melalui observasi peneliti yang langsung melakukan pengukuran di tempat serta dibantu oleh bentuk denah yang terdapat pada ruangan perpustakaan dengan menggunakan *5 in 1 envirometer*. Pada alat tersebut peneliti menggunakan *luxmeter* untuk mengukur intensitas cahaya pada ruangan. Peneliti menyesuaikan ruangan dengan bentuk *rectangle* untuk memudahkan titik pengukuran pencahayaan. Mengacu pada ukuran dimensi ruangan maka pengukuran yang dilakukan adalah per 6-meter dari tiap sisi samping ruangan sebagai berikut:



Gambar 2. Dimensi Ruangan

Melalui ukuran dimensi pada gambar di atas, berikut merupakan hasil intensitas cahaya yang didapat pada ruangan tersebut :

Tabel 5 Hasil Intensitas Cahaya

Intensitas Cahaya (Lux)		Average (Lux)
1	2	
122,4	122,9	122,65

Menurut Kepmenkes RI NO.261/MENKES/SK/II/199 tentang nilai ambang batas pencahayaan menyatakan bahwasanya tingkat pencahayaan minimal pada ruangan seperti pekerjaan kantor, membaca, menulis, pekerjaan arsip adalah 300 Lux. Berdasarkan hasil pengumpulan data, didapat rata-rata intensitas cahaya sebesar 122,65 Lux. Artinya, pencahayaan diruang tersebut cenderung redup dan menunjukkan bahwa intensitas cahaya tersebut belum memenuhi standar yang sudah ditentukan Kepmenkes, selain itu, faktor lainnya adalah banyaknya lampu yang tidak hidup pada ruangan tersebut. Untuk meraih standar tingkat pencahayaan, dibutuhkan beberapa lampu tambahan dengan kapasitas 300 lux. Berikut merupakan perhitungan berapa banyak lampu yang dibutuhkan untuk memperbaiki tingkat pencahayaan pada ruangan tersebut:

Umumnya, 1-Watt Lampu menghasilkan 75 Lumen. Lumen merupakan satuan pencahayaan untuk menghitung kebutuhan cahaya dalam sebuah ruangan. Berikut perhitungan yang digunakan:

$$N = \frac{E \times L \times W}{\phi \times LLF \times Cu \times n} \quad (1)$$

N = Jumlah lampu

E = Kuat penerangan Lux = 300 Lux

L = Panjang ruangan (m)

W = Lebar ruangan (m)

ϕ = Total nilai pencahayaan pada satu lumen

ϕ = Watt \times Lumen

LLF = Faktor Kehilangan Cahaya (0,7-0,8)

Cu = Coeffesien of Utilization (50-65%)

n = Jumlah lampu dalam 1 titik

Pada proses data perhitungan ini seperti yang diketahui sebelumnya bahwa 1-watt setara dengan 75 lumen, dan lampu yang digunakan adalah lampu dengan daya 40-watt:

Diketahui:

E = 300 Lux

L = 18 m

W = 12 m

ϕ = 70 \times 75 = 5250 Lumen

LLF = 0,7

Cu = 50% = 0,5

n = 1

Berikut hasil perhitungan berapa banyaknya lampu yang dibutuhkan pada perpustakaan XYZ dengan tingkat pencahayaan 300 lux:

$$N = \frac{300 \times 18 \times 12}{5250 \times 0,7 \times 0,5 \times 1}$$

$$N = \frac{64.800}{1.837} = 35 \text{ Lampu (70 watt)}$$

$$= \frac{216}{35} = 6 \text{ m}^2 \text{ per lampu}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, didapat bahwa jumlah lampu yang dibutuhkan oleh perpustakaan XYZ sebanyak 35 buah dengan lampu yang dinyalakan adalah 70-watt. Kemudian, jarak satu lampu dengan yang lainnya sebesar 6 m² per lampu.

3.2. Pengukuran Suhu pada *Layout* Perpustakaan XYZ

Peneliti mengambil 5 sampel suhu ruangan dimana rata-rata temperatur yang diperoleh pada perpustakaan XYZ adalah 25,04° C. Berdasarkan hasil tersebut, dapat dikatakan suhu yang terdapat pada perpustakaan XYZ sudah memenuhi standar karena penelitian yang dilakukan oleh (Lestary & Harmon, 2017) mengatakan bahwa suhu udara yang nyaman pada sebagian pekerja sebesar 25,6° C. Namun, AC yang dimiliki oleh perpustakaan memiliki tata letak yang salah karena AC memiliki jarak yang dekat dengan kursi pembaca dan mengarah secara langsung ke pembaca. Jika dibiarkan, pembaca akan merasa kedinginan dan hal tersebut akan berdampak negative pada tingkat fokus pembaca. Sehingga, rekomendasi yang dapat diberikan adalah kursi pembaca dapat diletakkan sedikit lebih jauh dari letak AC tersebut berada.

3.3 Pengolahan Data RULA (*Rapid Upper Limb Assesment*)

Berikut merupakan sudut dari 3 operator yang sudah dibuat menggunakan aplikasi Angle meter:



Gambar 3 Sudut Postur Kerja pada Responden

Tabel 2 Sudut Segmen Tubuh

Segmen Tubuh	Responden 1	Responden 2	Responden 3
<i>Upper Arm</i>	20 ⁰	37 ⁰	39 ⁰
<i>Lower Arm</i>	87 ⁰	55 ⁰	55 ⁰
<i>Wrist</i>	14 ⁰	16 ⁰	16 ⁰
<i>Neck</i>	24 ⁰	28 ⁰	21 ⁰

Segmen Tubuh	Responden 1	Responden 2	Responden 3
Trunk	11 ⁰	23 ⁰	28 ⁰

Setelah didapatkan sudut segmen tubuh setiap responden, peneliti menghitung skor menggunakan aplikasi Ergofellow. Berikut merupakan hasil skor postur kerja 3 responden yang telah didapat:

Tabel 3 RULA score

No	Responden	RULA score
1	Responden 1	4
2	Responden 2	5
3	Responden 3	5

Setelah didapat RULA score, maka peneliti dapat menganalisis score tersebut berdasarkan klasifikasi score RULA. Berikut merupakan klasifikasi RULA score:

Tabel 4 Klasifikasi RULA score

Skor	Tingkat Risiko dan Tindakan
1-2	Risiko diabaikan, Tidak perlu penanganan
3-4	Risiko rendah, Perubahan dibutuhkan
5-6	Risiko sedang, Penanganan lebih lanjut, Butuh perubahan segera
7+	Sangat berisiko, Lakukan perubahan sekarang

Berdasarkan klasifikasi RULA score, responden 1 termasuk ke dalam kategori “Risiko rendah. Perubahan dibutuhkan”. Sementara responden 2 dan responden 3 termasuk ke dalam kategori “Risiko sedang. Penanganan lebih lanjut. Butuh perubahan segera”. Perubahan yang diperlukan dibagi menjadi 2 yaitu *administrative control* dan *engineering control*. Pada *administrative control*, responden dapat melakukan peregangan supaya otot-otot menjadi relaks serta responden dapat beristirahat sejenak jika mulai kelelahan membaca. Pada *engineering control*, pihak perpustakaan dapat merancang ulang *layout* perpustakaan supaya meningkatkan kenyamanan pengunjung saat membaca.

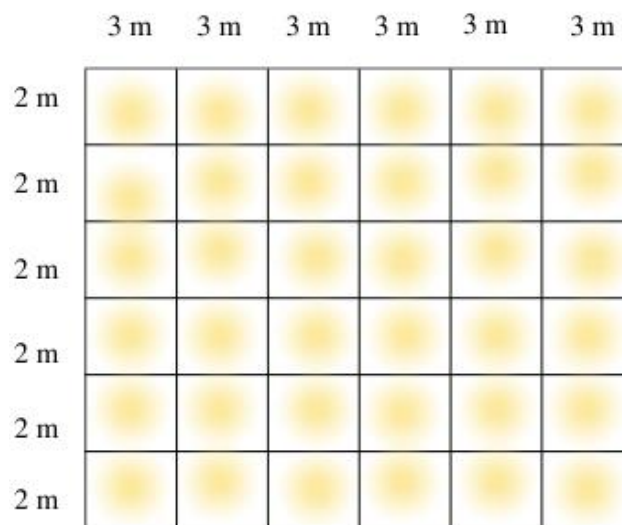
3.4. Perancangan Ulang *Layout* Perpustakaan XYZ

Berikut merupakan *layout* yang dirancang oleh peneliti menggunakan *website canva*:



Gambar 4 Interior *Layout*

Kemudian, berikut merupakan persebaran lampu yang peneliti sarankan untuk pihak perpustakaan:



Gambar 5 Persebaran Lampu

Desain yang dibuat untuk perbaikan *layout* dari perpustakaan XYZ adalah dengan memperbarui letak *Air Conditioner* dimana letaknya sedikit berjauhan dengan kursi pembaca. Selain itu, peneliti merubah posisi AC agar tidak langsung mengarah kepada operator. Dikarenakan jika posisi AC langsung mengarah pada posisi operator akan memberikan suhu yang terlalu dingin dan membuat aktivitas operator tidak nyaman.

Sedangkan fitur lainnya dapat dilihat pada gambar persebaran lampu yang tersebar di ruangan dengan luas $12 \times 18 \text{ m}^2$ dengan tingkat pencahayaan 300 Lux, di mana yang sebelumnya terdapat beberapa lampu pada perpustakaan tersebut tidak menyala dengan tingkat pencahayaan yang hanya mencapai 124 Lux. Hal ini bisa mengganggu kualitas penglihatan pengunjung perpustakaan saat membaca apabila terus-menerus membaca dalam kondisi di bawah tingkat minimal pencahayaan, Ilustrasi persebaran lampu sebanyak 35 lampu dengan intensitas cahaya sebesar 300 lux dapat dilihat pada gambar 5.

4. Simpulan

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, didapat tingkat pencahayaan rata-rata sebesar 122,9 Lux dengan luas $12 \times 18 \text{ m}^2$. Hal ini masih di bawah standar yang sudah ditetapkan Kepmenkes. Kemudian, dengan rata-rata suhu sebesar $25,04^{\circ}\text{C}$, tata letak AC masih kurang tepat karena jarak antara AC dan kursi pembaca terlalu dekat yang mengakibatkan pembaca mengalami kedinginan. Kemudian, pada postur kerja pengunjung perpustakaan, didapat skor sebesar 4 pada responden 1 dan skor sebesar 5 pada responden 2 dan responden 3. Skor tersebut masuk ke dalam kategori perlu perbaikan. Maka dari itu, baik berdasarkan hasil pencahayaan, suhu, maupun skor postur kerja, didapat rekomendasi berupa dengan merancang ulang *layout* pada perpustakaan XYZ, dimana pada rekomendasi ini berupa *re-design layout* dengan penambahan intensitas cahaya menjadi 300 lux, jumlah lampu sebanyak 35 lampu, jarak antar lampu sebesar 6 m^2 . Selain itu, pada postur tubuh, dapat dilakukannya *administrative control* seperti peregangan.

Daftar Pustaka

- Cahyani, D. E., Hasan, & Rumastika, N. S. (2020). Hubungan Durasi Duduk dan Risiko Postur Kerja dengan Tingkat Keluhan LBP pada Pegawai Perpustakaan Universitas Jember. *Journal of Agromedicine and Medical Sciences*, 125.
- Fleta, A. (2021). Analisis Pencahayaan Alami dan Buatan Pada Ruang Kantor Terhadap Kenyamanan Visual Pengguna. *Jurnal Patra*, 33.
- Indarwati, S., Bondan, S. M., & Darmanto. (2019). KEBUTUHAN DAYA PADA AIR CONDITIONER SAAT TERJADI PERBEDAAN SUHU DAN KELEMBABAN. *Majalah Ilmiah MOMENTUM*.
- Kurnia, F., & Sobirin, M. (2020). Analisis Tingkat Kualitas Postur Pengemudi Becak Menggunakan Metode RULA dan REBA. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material*, 1-5.
- Kurniati, T., & Jaenab, J. (2020). Pengaruh Lingkungan Kerja Fisik Terhadap Kepuasan Kerja Pegawai Pada Dinas Perpustakaan Kota Bima. *SULTANIST: Jurnal Manajemen dan Keuangan*, 79-84.
- Lestary, L., & Chaniago, H. (2017). Pengaruh Lingkungan Kerja Terhadap Kinerja Karyawan. *Jurnal Riset Bisnis Dan Investasi*, 94-103.
- Lestary, L., & Harmon. (2017). Pengaruh Lingkungan Kerja Terhadap Kinerja Karyawan. *Jurnal Riset Bisnis & Investasi*, 97.
- Manik, S., Muslimin, A. M., & A.Sugban, A. (2020). Perancangan Alat Ukur Intensitas Cahaya Berbasis Arduino Leonardo Menggunakan Sensor LDR. 1
- Prihandono, E. (2021). Min-Min Solution Sebagai Metode Konversi Skala Termometer. *Jurnal Pendidikan Fisika*, 204.
- Putra, R. N., Nugraha, A. E., & Herwanto, D. (2021). Analisis Pengaruh Intensitas Pencahayaan Terhadap Kelelahan Mata Pekerja. *Jurnal Teknika*, 82.
- Tertienny, U. (2019). Rancang Bangun Alat Pengukur Temperatur dan Kelembapan Ruangan Berbasis Mikrokontroler ARDUINO UNO dan Android. *Bachelor's thesis, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta*.

Evaluasi Teknologi dan Potensi Limbah yang dihasilkan oleh UKM Pengolahan Tempe: Studi Kasus Rumah Tempe Indonesia

Titi Candra Sunarti*^{1,2)}, Takbiratul Ikram¹⁾, Desrial²⁾

¹Program Studi Teknik Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian

²Program Studi Program Profesi Insinyur, Sekolah Pascasarjana

Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

E-mail: titi-cs@apps.ipb.ac.id; takbirikram@apps.ipb.ac.id; desrial@apps.ipb.ac.id

ABSTRAK

Tingginya konsumsi tempe di Indonesia telah meningkatkan jumlah UKM pengolahan tempe. Proses pengolahan tempe sebaiknya memenuhi kaidah-kaidah Cara Produksi Pangan yang Baik (CPPB), dan *Hazard Analysis Critical Control Point* (HACCP) karena keamanan pangan merupakan syarat penting pada pangan yang akan dikonsumsi oleh masyarakat luas. Kajian ini bertujuan untuk mengevaluasi teknologi proses produksi dan mengidentifikasi potensi limbah dan hasil samping yang dikeluarkan UKM pengolahan tempe yang telah melakukan penerapan CPPB dan HACCP di Kota Bogor, yaitu Rumah Tempe Indonesia. Secara umum, proses produksi tempe segar terdiri dari pemilihan bahan baku, produksi basah (proses pencucian, perendaman, perebusan, penggilingan, serta penirisan), produksi kering (proses sortasi, peragian, pengayakan), pengemasan, fermentasi dan penyimpanan. Hasil samping yang dihasilkan dari proses produksi tempe segar yaitu kulit ari kedelai dan limbah cair hasil pencucian kedelai yang saat ini belum dimanfaatkan oleh pihak Rumah Tempe Indonesia. Temuan menunjukkan adanya peluang besar untuk memanfaatkan limbah sebagai sumber bahan baku alternatif atau produk bernilai tambah. Implementasi produksi bersih dan strategi pengolahan limbah yang efektif dianjurkan untuk meningkatkan keberlanjutan industri tempe.

Kata kunci: Evaluasi Teknologi Proses, Limbah Industri, UKM Pengolahan Tempe

1. Pendahuluan

Tempe merupakan produk pangan asli Indonesia berbasis kedelai, yang sangat digemari masyarakat, dan permintaannya sangat tinggi di seluruh Indonesia. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (2024), tahun 2023 rata-rata konsumsi tempe di Indonesia mencapai 1,388 ons/minggu, atau data Badan Pusat Statistik (2023) yang menyatakan konsumsi per kapita tempe di Indonesia tahun 2022 mencapai 7.3 kg.

Tempe diproduksi melalui proses fermentasi biji kedelai, dan menghasilkan pangan sumber protein nabati yang bernilai gizi. Proses pengolahan tempe yang dilakukan oleh masyarakat saat ini merupakan teknologi yang telah diturunkan sejak abad ke-16 di berbagai daerah di Pulau Jawa sehingga menghasilkan kualitas tempe yang sangat bervariasi. Namun Astawan dkk. (2017) merangkum bahwa prinsip proses produksi tempe dibagi menjadi dua bagian, yaitu proses produksi basah dan produksi kering. Produksi basah meliputi pencucian, perendaman, perebusan kedelai, pengasaman, dan pemisahan kulit, sedangkan produksi kering meliputi penambahan laru/ragi, pengemasan dan fermentasi. Selain dengan cara tradisional, proses pembuatan tempe juga telah dilakukan secara modern menggunakan alat dan mesin pengolahan, serta telah menerapkan cara produksi makanan yang baik. Tujuan dari kajian ini adalah mengevaluasi teknologi proses produksi pembuatan tempe dan potensi limbah yang dikeluarkan dari industri pengolahan tempe kedelai dari unit pengolahan tempe yang telah memperoleh sertifikat SNI 3144-2015. Dalam SNI tersebut, definisi tempe yaitu produk berbentuk padatan kompak berwarna putih, yang diperoleh dari kedelai kupas yang sudah direbus dan difermentasi menggunakan kapang *Rhizopus spp.* SNI ini juga mengatur persyaratan mutu tempe, mulai dari tekstur, warna, bau, kadar air, kadar lemak, kadar protein, kadar serat kasar, cemaran logam, cemaran arsen, dan cemara mikroba.

2. Metode

Penelitian dilakukan di Rumah Tempe Indonesia di Kota dan Kabupaten Bogor pada Juni-Juli 2023. Penelitian ini dibagi menjadi empat tahap: (1) identifikasi dan evaluasi teknologi proses pembuatan tempe serta alat dan mesin pengolahannya, (2) analisis neraca massa proses produksi dan aliran bahan masuk dan keluar, (3) evaluasi potensi limbah dari unit pengolahan, dan (4) kajian peluang pemanfaatan limbah dan hasil samping untuk produksi bersih. Pengamatan dilakukan melalui observasi langsung dan wawancara dengan pelaku industri.

3. Hasil dan Pembahasan

Profil Industri

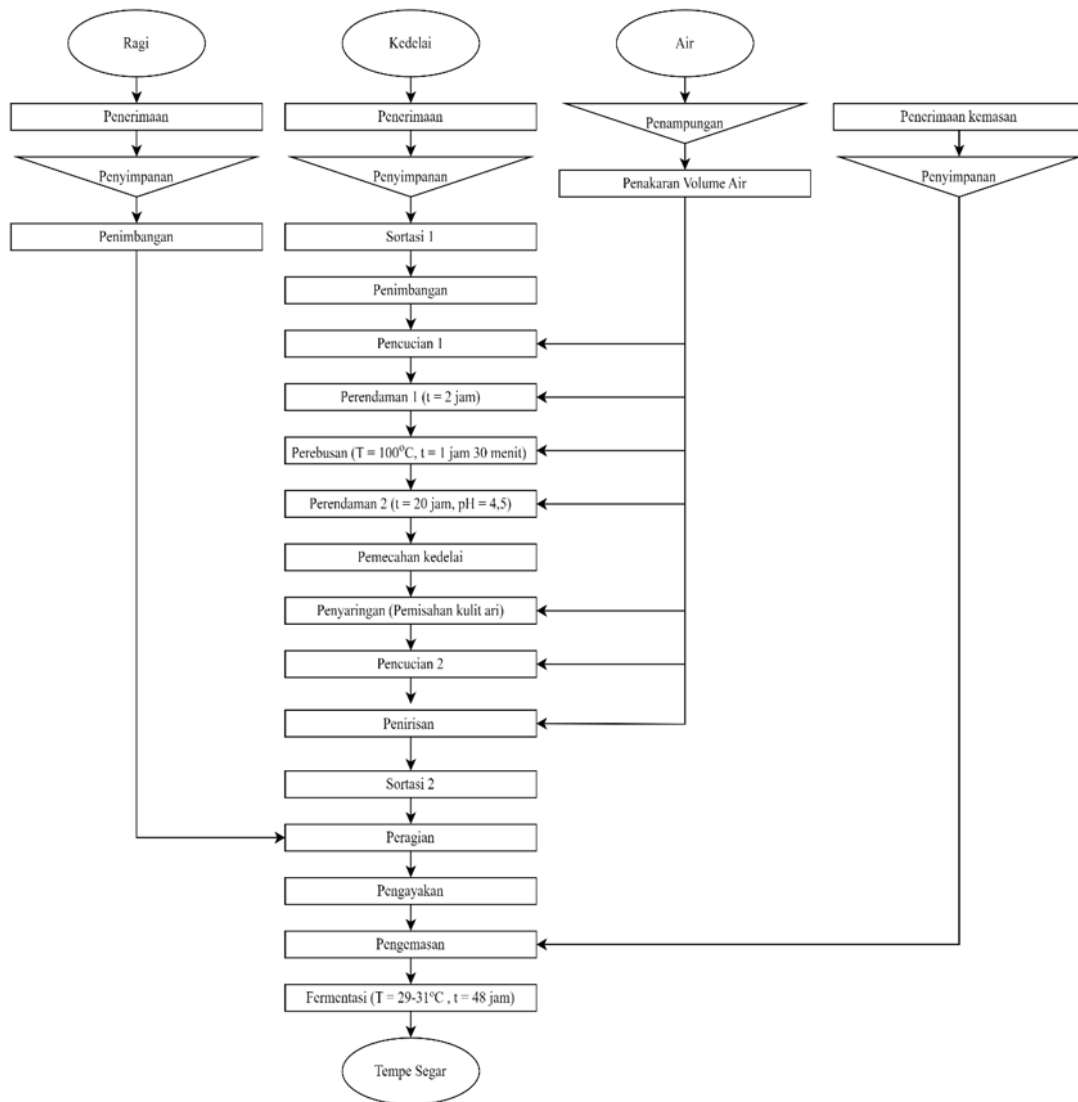
Rumah Tempe Indonesia (RTI) didirikan diresmikan pada 6 Juni 2012. RTI diprakarsai oleh KOPTI Kabupaten Bogor dan *Mercy Corps Indonesia* (MCI) melalui Program *Scaling Sustainable Consumption and production in the Soybean Processing Industry in Indonesia* (SCoPE) serta didukung oleh PT. ANTAM Persero dan FKS Multiagro. RTI merupakan pabrik tempe yang memiliki sertifikat *Hazard Analysis Critical Control Point* (HACCP) dari IPB, *Standar Nasional Indonesia* (SNI) 3144-2015 dari KAN, dan sertifikasi halal dari MUI. Rumah Tempe Indonesia telah memproduksi dan memasarkan berbagai macam tempe di Indonesia. Produk yang dihasilkan berupa tempe segar dalam kemasan plastik dan daun, serta tempe olahan berupa tempe ungkep bumbu kuning dan tempe bumbu bacem, serta keripik tempe rasa *original* dan *hot spicy*.

Proses Produksi

Bahan baku utama yang digunakan untuk memproduksi tempe segar di RTI yaitu kacang kedelai, ragi bubuk dan air. Kacang kedelai yang digunakan menurut jenis dan asalnya terbagi atas dua yaitu kedelai impor dan kedelai lokal. Setiap hari RTI mengolah sekitar 350-400 kg kedelai. Ragi bubuk yang digunakan merupakan jenis ragi khusus tempe *brand R* yang diproduksi oleh Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI). Takaran ragi yang digunakan yaitu 1,5 g per 1 kg kedelai. Air yang digunakan dalam produksi yaitu air sumur yang telah lulus dalam pengujian BPOM.

Alur produksi tempe segar di Rumah Tempe Indonesia (RTI) sesuai standar HACCP (*Hazard Analysis Critical Control Points*) disajikan pada Gambar 1. Secara umum, proses produksi tempe segar meliputi pemilihan bahan baku, produksi basah, produksi kering, pengemasan, fermentasi dan penyimpanan. Pemilihan bahan baku (sortasi 1) bertujuan untuk memisahkan atau membuang benda asing seperti biji jagung, kerikil, bunga rumput, dan kedelai yang tidak lolos sertasi atau mengalami cacat bentuk dan warna yang tidak sesuai. Kacang kedelai yang tidak lolos sortasi akan dimanfaatkan sebagai pakan ternak ataupun dijual dengan harga Rp 2500/kg ke pengepul.

Proses produksi basah meliputi pencucian I, perendaman I, perebusan, perendaman II, pemecahan biji, penyaringan, pencucian II, dan penirisan; sedangkan proses produksi kering terdiri atas peragian, pengayakan, pengemasan dan fermentasi.



Gambar 1. Diagram Alir Proses Produksi Tempe Segar

Pencucian I dilakukan dengan tujuan untuk membersihkan kedelai dari pengotor halus seperti debu, pasir dan kotoran lainnya. Pencucian dilakukan dengan menggunakan air bersih secara berulang 2-3 kali. Perendaman I dilakukan dengan menggunakan air dengan jumlah dua kali lipat bobot kacang kedelai selama 2 jam, agar kacang kedelai lebih mengembang. Proses perebusan dilakukan selama kurang lebih 1 jam 30 menit yang bertujuan agar kedelai menjadi matang dan bertekstur lunak. Selain membuat lunak, perebusan juga memudahkan proses pengupasan kulit ari kedelai sehingga asam laktat bisa masuk lebih mudah ke dalam biji kedelai dan miselium tumbuh selama fermentasi (Utari dkk 2010). Proses perebusan juga bertujuan untuk menghentikan aktivitas enzim lipoksinase, yaitu enzim yang menyebabkan terbentuknya bau langu, membebaskan senyawa tertentu dalam kedelai untuk pertumbuhan mikroba, mengurangi senyawa anti gizi seperti antitripsin, anti kimotripsin, hemagglutinin, saponin, serta untuk membunuh bakteri yang bersifat kontaminan yang hidup dan berkembang biak selama perendaman, yang mengakibatkan timbulnya bakteri dan lendir sehingga akan menghalangi proses fermentasi tahap akhir. Kedelai yang telah direbus kemudian direndam (Perendaman II) selama kurang lebih 20 jam. Proses ini bertujuan untuk menciptakan kondisi

asam sekitar pH 4-5. Adanya bakteri asam laktat yang tumbuh membuat biji kedelai semakin lunak dan mengembang sehingga biji kedelai lebih mudah dikupas. Semakin lama perendaman dapat menimbulkan rasa asam. Hal ini disebabkan oleh tumbuhnya bakteri asam laktat sehingga peningkatan kadar asam pada air rendaman kedelai (Margareta dan Maryani 2021). Pemecahan kedelai bertujuan untuk memudahkan proses pemisahan kedelai dengan kulit arinya. Selain itu, pemecahan kedelai juga berfungsi untuk memperluas permukaan kontak biji kedelai. Hal ini memungkinkan kapang *Rhizopus* untuk tumbuh lebih baik dan menyebar secara merata pada biji kedelai. Pemisahan kulit air kedelai dari bijinya dilakukan menggunakan metode perendaman. Kacang kedelai akan tenggelam sedangkan kulit ari akan mengapung di permukaan air. Kulit ari dipisahkan secara manual menggunakan alat penyaring anyaman bambu.

Proses pencucian II setelah penyaringan dilakukan menggunakan mesin pencucian otomatis yang dilengkapi dengan agitator sebagai pengaduk. Proses ini memerlukan waktu 10 menit. Pencucian ini bertujuan untuk menghilangkan residu pada kacang kedelai setelah dilakukan proses penyaringan yang dilanjutkan dengan penirisan. Penirisan bertujuan untuk mengurangi kadar air yang menempel pada kedelai. Penirisan diawali dengan penyiraman dengan air panas dimaksudkan untuk mengurangi kandungan asam setelah perendaman dan pencucian. Kadar asam yang berlebih pada biji kedelai dapat mengakibatkan pembusukan pada tempe segar lebih cepat terjadi sehingga tahap penyiraman penting untuk dilakukan. Biji kedelai kemudian didinginkan dan dipercepat dengan diangin-angini oleh kipas angin. Hal ini karena RTI menggunakan metode fermentasi kering di mana biji-biji kedelai harus benar-benar kering agar kualitas tetap terjaga.

Proses pembuatan tempe dilanjutkan dengan proses produksi kering yang diawali dengan sortasi II yang dilakukan secara manual dan visual pekerja. Proses ini bertujuan untuk membuang sisa kulit ari, kedelai berwarna gelap, ataupun benda asing lain yang masih terdapat pada kacang kedelai. Proses peragian merupakan proses paling penting, yaitu pemberian *starter*/inokulum pada kedelai sebagai awal proses fermentasi. Kualitas ragi yang baik sangat penting untuk menjaga kualitas tempe yang dihasilkan. Ragi yang disebarkan pada kacang kedelai perlu diayak terlebih dahulu dan dilanjutkan dengan pengadukan secara manual hingga tercampur rata. Untuk memisahkan sisa ragi yang menggumpal serta sisa partikel padat yang masih tertinggal pada kacang kedelai yang telah diberi ragi, maka dilakukan proses pengayakan manual menggunakan ayakan dari anyaman bambu. Sebelum fermentasi dimulai, biji kedelai yang telah diragikan dikemas dalam plastik polypropilene yang diberi lubang disisinya. Sebanyak 450 g biji kedelai dimasukkan ke dalam kemasan, di-*seal* dan dibentuk melalui pengempaan.

Fermentasi merupakan proses yang menentukan tingkat keberhasilan produk tempe. Proses fermentasi dilakukan di dalam ruangan suhu antara 33 – 35°C dengan kelembabapan 70% – 80%. Proses fermentasi yang diperlukan yaitu setidaknya 45 jam untuk menjadi produk tempe sempurna. Menurut Wahyudi (2018), waktu pertumbuhan jamur *Rhizopus oligosporus* pada tempe kacang kedelai sangat baik pada ruang inkubasi 35 °C selama 36 jam. Ringkasan untuk evaluasi proses produksi tempe segar dan alat mesin pengolahan yang digunakan disajikan pada Tabel 1.

Neraca Massa Proses Produksi Tempe Segar

Proses produksi tempe segar di RTI per hari membutuhkan 350 kg kedelai, air bersih dan 736 g ragi sehingga dihasilkan tempe sebanyak 1070 pcs dengan bobot 450 g per pcs. Proses

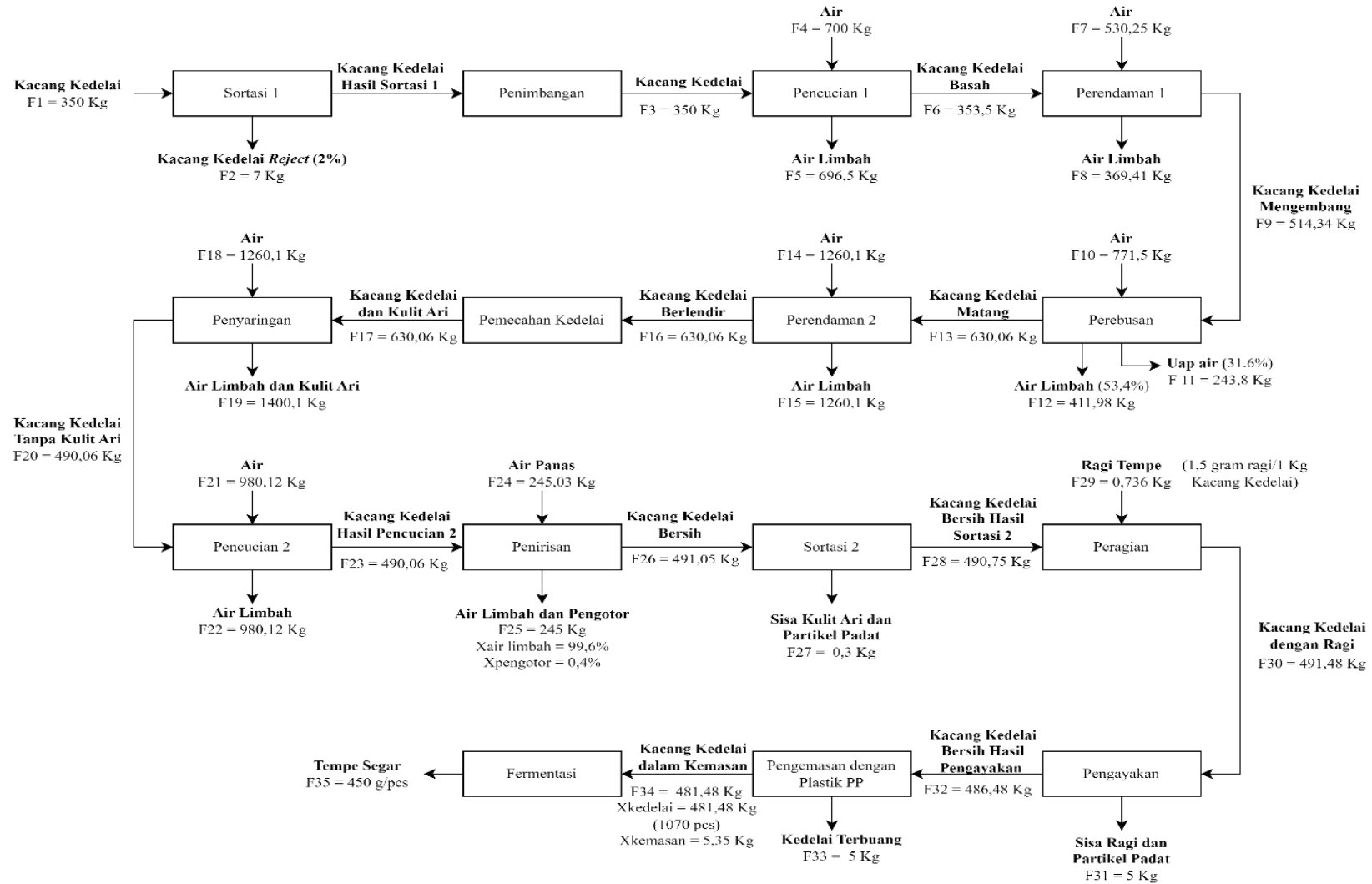
ini juga menghasilkan limbah padat dan limbah cair sebagaimana terlihat pada bagan neraca massa bahan pada Gambar 2.

Tabel 1. Evaluasi Proses dalam Proses Produksi Tempe Segar

No.	Tahapan Proses	Evaluasi Proses	Alat dan Mesin Pengolahan
1	Sortasi I	Tujuan dari sortasi ini yaitu <i>grading</i> kedelai serta pemisahan antara kedelai dengan benda asing seperti jagung, kayu, dan benda padat lainnya. <i>Grading</i> dilakukan untuk memperoleh ukuran yang seragam. Sortasi juga dilakukan terhadap warna kedelai yang masih hijau atau coklat kehitaman.	Meja sortasi persegi panjang, terdiri dari dua bagian, yaitu bagian atas yang terdapat lubang-lubang kecil yang ukurannya telah ditetapkan dan bagian bawah yang berfungsi untuk menampung kedelai yang tidak lolos sortasi.
2	Penimbangan	Menentukan jumlah bahan baku (biji kedelai) yang akan digunakan	Timbangan duduk manual
3	Pencucian I	membersihkan kedelai dari pengotor halus seperti debu, pasir dan kotoran lainnya. Pencucian dilakukan dengan menggunakan air bersih secara berulang 2-3 kali.	Tangki pencucian
4	Perendaman I	Perendaman I menggunakan air dengan jumlah dua kali lipat kacang kedelai selama 2 jam, untuk membuat kacang kedelai menyerap air dan lebih mengembang.	Tangki perendaman
5	Perebusan	Rehidrasi biji kedelai maksimal & mengempukan biji sehingga dapat menyerap asam pada tahap berikutnya. Perebusan akan menghilangkan bau langu dan mengurangi mikroba patogen.	Tungku pemanas (kompor matahari) dan tangki/dandang perebusan
6	Perendaman II	Terjadi penyerapan air pada biji maksimal dan proses fermentasi oleh BAL secara alami, serta dihasilkan kondisi keasaman yang sesuai untuk pertumbuhan miselia kapang. Fermentasi dicirikan dengan timbulnya bau asam dan buih akibat pada air rendaman akibat aktivitas BAL. Fermentasi BAL dapat meningkatkan daya cerna biji kedelai, dan menekan pertumbuhan bakteri patogen	Tangki perendaman
7	Pemecahan kedelai	Pemisahan kulit dari biji kedelai agar miselia kapang dapat menembus biji kedelai.	Mesin pemecah kedelai, untuk memudahkan pemisahan biji dan kulit ari kedelai

Tabel 1. Evaluasi Proses dalam Proses Produksi Tempe Segar (Lanjutan)

No.	Tahapan Proses	Evaluasi Proses	Alat dan mesin pengolahan
8	Penyaringan	memisahkan antara kacang kedelai dari kulit arinya menggunakan metode perendaman. Kacang kedelai akan tenggelam sedangkan kulit ari akan mengapung di permukaan air.	Kulit ari dipisahkan secara manual menggunakan alat penyaring anyaman bambu.
9	Pencucian II	Menghilangkan kotoran & asam yang terbentuk oleh BAL selama perendaman, serta penurunan tingkat keasaman biji kedelai yang dapat mengganggu pertumbuhan miselia kapang.	Mesin pencuci kedelai otomatis yang digerakkan oleh motor. Berfungsi untuk mencuci kedelai setelah tahap pemisahan dengan cepat dan efisien
10	Penirisan	Penirisan diawali dengan penyiraman air panas pada biji kedelai, untuk membuang kelebihan asam menggunakan wadah khusus yang dasarnya terdapat saringan, kemudian didiamkan untuk mengurangi kadar air yang menempel pada kedelai.	Tangki penirisan kedelai dilengkapi kran pembuangan air.
11	Sortasi II	Proses dilakukan secara manual dengan visual pekerja, untuk membuang sisa kulit ari, kedelai berwarna gelap, ataupun padatan asing lain	Sortasi dilakukan pada meja peragian sebelum ditambahkan ragi
12	Peragian	Peragian atau penambahan inokulum/ragi kapang pada permukaan biji kedelai dan dilakukan secara manual	Meja peragian
13	Pengayakan	memisahkan sisa ragi yang menggumpal serta sisa partikel padat yang masih tertinggal pada kacang kedelai yang telah diragi.	Proses ini dilakukan secara manual menggunakan ayakan dari anyaman bambu.
14	Pengemasan	Berbagai wadah dan bahan kemasan dapat digunakan, dengan syarat tetap dapat memasok udara/oksigen bagi pertumbuhan kapang, misalkan daun atau plastik yang diberi lubang.	Alat pengisian kedelai, penimbangan, <i>sealer</i> dan alat pemadat tempe
15	Fermentasi	Fermentasi dapat dilakukan pada kisaran suhu 33-35°C, RH 70-80% selama 45 jam.	Rak fermentasi dengan <i>tray</i> tempat meletakkan tempe



Gambar 2. Neraca Massa Proses Produksi Tempe Segar

Secara umum terjadi peningkatan bobot dan volume dari biji kedelai akibat proses perendaman dan perebusan, yaitu dari 350 kg biji kering menjadi 514 kg kedelai basah dan matang. Namun kedelai matang harus dibuang kulit arinya sehingga bobot berkurang hingga menjadi 490 kg. Penggunaan air terjadi pada proses pencucian, perendaman dan perebusan. Jumlah air yang digunakan 5747 liter, sehingga dalam proses produksi tempe ini dibutuhkan 16.4-liter air per kg biji kedelai.

Potensi Limbah dan Hasil Samping dari Proses Produksi Tempe Segar

Proses produksi tempe segar mengeluarkan limbah berupa limbah padat dan limbah cair. Dari proses produksi basah dihasilkan kedelai reject (buangan sortasi), kulit ari dan limbah cair, sedangkan dari proses produksi kering dihasilkan kedelai yang terbuang, sisa ragi menggumpal dan partikel asing. Tabel 2 memperlihatkan potensi limbah yang dikeluarkan berupa padatan sejumlah 157.3 kg dan limbah cair sebanyak 5223.21 liter.

Tabel 2. Hasil Samping Proses Produksi Tempe Segar

Input	Output
Padatan	
350 Kg kedelai (F1)	7 Kg kedelai <i>reject</i> (F2)
630.06 Kg kedelai pecah (F17)	140 Kg kulit ari (F19)
491.05 Kg kedelai bersih (F26)	0.3 Kg sisa kulit ari dan partikel padat (F27)
0.736 Kg ragi tempe (F29)	5 Kg ragi menggumpal (F31)
486.48 Kg kedelai hasil pengayakan (F32)	5 Kg kedelai terbuang (F33)
Total	157.3 Kg
Cairan	
700 L air pencucian I (F4)	696.5 L limbah (F5)
530.25 L air perendaman I (F7)	369.41 L limbah (F8)
771.5 L air perebusan (F10)	411.98 L limbah (F12)
1260.1 L air perendaman (F14)	1260.1 L limbah (F15)
1260.1 L air penyaringan	1260.1 L limbah (F19)
980.12 L air pencucian II (F21)	980.12 limbah (F22)
245.03 L air panas (F24)	245 L limbah (F25)
Total	5223.21 L

RTI hingga saat ini belum melakukan pengolahan terhadap limbah dan hasil sampingnya. Kulit ari dijual ke pengepul sebagai pakan ternak, sedangkan limbah cair dialirkan ke sumur serapan. Limbah cair tempe tersebut memiliki kandungan protein sebesar 0,42%, lemak 0,13%, karbohidrat 0,11%, air 98,87%, kalsium 13,60 ppm, fosfor 1,74 ppm dan besi 4,55 ppm (Prasetio dan Widyastuti, 2020). Pemanfaatan limbah cair sebagai sumber pupuk cair organik dilaporkan oleh Perdana dan Widiawati (2021) dan Prasetio dan Widyastuti (2020). Iriyani (2001) melaporkan bahwa kulit ari biji kedelai mengandung protein kasar 17.98%, lemak kasar 5.5%, serat kasar 24.84%. Kulit ari dapat dimanfaatkan sebagai suplemen sumber serat dan protein (Amanda dkk, 2018) untuk bahan pangan, atau sumber nutrisi untuk pakan ternak melalui fermentasi (Auza dkk, 2017).

4. Simpulan

Proses produksi tempe segar yang dilakukan di Rumah Tempe Indonesia telah menerapkan HACCP dan mendapatkan sertifikat SNI 3144-2015 dengan menerapkan proses produksi modern dengan penggunaan alat dan mesin pengolahan yang tepat. Proses produksi tempe secara umum meliputi produksi basah dan produksi kering, dengan tahapan penting pada penirisan dan pengeringan, pemberian ragi, pengemasan dan fermentasi. Dari proses juga

dikeluarkan limbah cair dan limbah padat yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pupuk organik cair dan suplemen bahan pangan.

Daftar Pustaka

- Amanda, R. S. A., Widanti, Y.A., dan Mustapha, A. 2018. Pemanfaatan tepung kulit ari kedelai (*Glycine max*) sebagai penambah serat pada *cookies* dengan flavor pisang ambon (*Musa acuminata* Colla). *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*. Vol. 3, No. 2, pp. 129–134
- Astawan, M., Wresdiyati, T., Maknun, L. 2017. Tempe sumber zat gizi dan komponen bioaktif untuk kesehatan. Bogor (ID): IPB Press.
- Auza, F.A., Badaruddin, R., dan Aka, R. 2017. Peningkatan nilai nutrisi kulit ari biji kedelai yang difermentasi dengan menggunakan teknologi efektivitas mikroorganisme (EM-4) dan waktu inkubasi yang berbeda. *Jurnal Scientific Pinisi*. Vol 3., No. 2, pp.134
- Badan Pusat Statistika. 2023. Rata-rata konsumsi perkapita seminggu menurut kelompok kacang-kacangan per kabupaten/kota. *Badan Pusat Statistika Indonesia*.
- Badan Pusat Statistika. 2024. Rata-rata konsumsi perkapita seminggu menurut kelompok kacang-kacangan per kabupaten/kota. *Badan Pusat Statistika Indonesia*.
- Margareta M, Maryani. 2021. Pengaruh lama perendaman biji kedelai (*Glycine max* L. Merr) terhadap karakteristik Organoleptik susu kedelai. *AgriHumanis: Jurnal of Agriculture and Human Resource Development Studies*. Vol. 2, No.1, pp. 9-14.
- Perdana, A.T. dan Widiawati, D. 2021. Pemberdayaan masyarakat dalam pengolahan limbah cair produksi tempe di Kampung Tempe Kota Tangerang. *Jurnal Pemberdayaan Masyarakat Universitas Al Azhar Indonesia*. Vol. 4, No.1, pp, 9-13.
- Prasetyo, J. dan Widyastuti, S. 2020. Pupuk organik cair dari limbah industri tempe. *Jurnal Teknik WAKTU*. Vol. 18, No.02, pp. 22-32.
- Utari DM, Rimbawari, Riyadi H, Muhilal, Purwastyastuti. 2010. Pengaruh pengolahan kedelai menjadi tempe dan pemasakan tempe terhadap kadar isoflavone. *PGM*. Vol. 33. No,2, pp. 148-153.
- Wahyudi A. 2018. Pengaruh variasi suhu ruang inkubasi terhadap waktu pertumbuhan *Rhizopus oligosporus* pada pembuatan tempe kedelai. *Jurnal Universitas PGRI Palembang*. Vol. 3, No.1, pp. 37-44.

Inovasi Alat Pemberi Pakan dan Vitamin Otomatis dengan Pendekatan Biomekanika dan Postur Kerja pada Peternakan

Z

Ulvi Sakinah^{*1)}, Khalisa Aurelia Listyafaiza²⁾, Amalia Salsabila³⁾, dan M. Aldo Septiyandi⁴⁾

¹⁾Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia, Jl. Kaliurang No.Km. 14,5, Krawitan, Umbulmartani, Kec. Ngemplak, Sleman, 55584, Indonesia

Email: ulvisakinah834@gmail.com, khalisaaurelia08@gmail.com, amaliasalsabila432@gmail.com, maldoseptiyandi69@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi gaya tekan pada L5/S1, level risiko postur kerja pada pekerja pemberi pakan ayam menggunakan metode biomekanika dan metode (REBA) pada pekerjaan pengangkatan pakan ayam dan pemberi pakan ayam. Selain itu penelitian ini bertujuan untuk mendesain alat yang dapat meminimalkan gaya tekan dan postur kerja operator sehingga mengurangi risiko gangguan muskuloskeletal. Hasil penelitian 3 operator pada metode biomekanika di peroleh *force compression* sebesar 8494,87N, 9964,72N, 6170,42N, termasuk ke dalam klasifikasi hati-hati dan berbahaya (butuh penanganan *AC* dan *EC*. Hasil analisis menggunakan metode REBA mengungkapkan bahwa ketiga operator tersebut memperoleh *score* sebesar 9,7 dan 6 dengan klasifikasi (*High Risk* dan *Medium Risk*). Berdasarkan hasil tersebut diperoleh kesimpulan berupa diperlukan penanganan terhadap pekerja pengangkatan dan pemberi pakan karena objek yang diangkat memiliki berat 50kg dan postur kerja tidak ergonomis untuk mengurangi risiko pada *musculoskeletal*.

Kata kunci: *Administrative Control*, Biomekanika, L5/S1, *Engineering Control*, REBA,

1. Pendahuluan

Industri peternakan merupakan salah satu bisnis unggulan di negara berkembang terutama di negara agraris, dengan banyak peluang untuk berkembang baik di masyarakat yang tinggal di wilayah pedesaan (*rural*) maupun pinggir kota (*suburban*). Indonesia mempunyai potensi yang baik di bidang peternakan (Kartikasari, 2020). Industri peternakan yang berkembang di Indonesia salah satunya adalah peternakan ayam petelur. Perkembangan industri peternakan ayam petelur pada tahun 1970-2013 mengalami peningkatan dengan rata-rata sebesar 15,77% per tahun dengan populasi pada tahun 2019 sebesar 27.740.622 (Faizun, 2023). Perkembangan industri peternakan tentunya menciptakan lapangan pekerjaan bagi masyarakat.

Semakin tingginya tingkat permintaan ayam petelur merupakan tantangan bagi pemilik peternakan, produsen, dan suplai bahan pakan, di mana harus dapat menyeimbangkan kegiatan bagi pekerja, sehingga kegiatan dapat dikatakan baik dan ergonomi, umumnya pada industri peternakan menyediakan pekerjaan penyedia jasa, pekerjaan penyedia jasa merupakan semua aktivitas ekonomi yang dapat menyebabkan adanya interaksi dan tindakan seperti kontak sosial antara produsen dan konsumen. Salah satu pekerjaan penyedia jasa yaitu pemberi pakan dan vitamin ayam. Pekerja pemberi pakan dan vitamin ayam mengharuskan pekerja mengangkat pakan ayam yang berat sehingga menyebabkan pekerja membentuk postur kerja yang membungkuk, di mana pekerjaan ini mengharuskan pekerja bekerja sambil berpindah tempat. Cedera dapat terjadi pada pekerja selama aktivitas mengangkat, menurunkan, mendorong, menarik, dan membawa beban. Ini dapat terjadi jika aktivitas ini dilakukan dengan tidak tepat atau menggunakan alat yang tidak ergonomis (Agustin et al., 2020).

"Ergonomi" berasal dari kata Yunansi "ergon", yang berarti "kerja", dan "nomos", yang berarti "aturan atau hukum." Arti ergonomi adalah aturan atau norma yang mengatur sistem kerja (Fitra et al., 2020). Jika aktivitas atau pekerjaan dilakukan secara tidak ergonomis, itu dapat menyebabkan ketidaknyamanan, biaya yang lebih tinggi, dan peningkatan kecelakaan dan penyakit akibat kerja. Selain itu, kinerja yang buruk dapat menyebabkan produktivitas, efisiensi,

dan daya kerja yang lebih rendah. Penerapan ilmu ergonomi dapat dilakukan perhitungan yang digunakan untuk mengetahui klasifikasi risiko kerja, dilakukan analisis dari data perhitungan yang diperoleh, sehingga rekomendasi yang diberikan dapat mengoptimalkan produktivitas para pekerja pemberi vitamin dan pakan ayam, seperti beban kerja dan postur kerja yang baik. Penggunaan ilmu ergonomi dapat dilakukan untuk mengevaluasi postur dan beban kerja dinamis, pekerja harus memiliki pemahaman yang luas tentang penyebab utama beban kerja dinamis. Kegiatan yang dilakukan dengan salah atau tidak ergonomik dapat menyebabkan terjadinya *Cummulative Trauma Disorders* (CTDs) atau cedera tulang punggung, gangguan pada otot, saraf, ligamen, tulang, dan sendi di bagian bawah, bagian atas, dan tulang belakang bagi pekerja (Fauziah et al., 2024).

Cumulative Trauma Disorders (CTDs) kumpulan gangguan, cedera, atau gangguan pada sistem muskuloskeletal yang mencakup saraf, otot, tendon, ligamen, tulang, dan sendi di titik ekstrem tubuh bagian atas (tangan, pergelangan tangan, siku, dan bahu), tubuh bagian bawah (kaki, lutut, dan pinggul), dan tulang belakang (punggung dan leher) (Said et al., 2023).

Seperti yang diketahui permintaan ayam petelur meningkat setiap tahunnya, dengan meningkatnya permintaan ayam petelur tentu dapat berpengaruh terhadap aktivitas pekerjaan sehingga menyebabkan bertambahnya beban kerja bagi para pekerja, oleh karena itu diperlukan analisis biomekanika dan postur kerja agar tidak terjadinya cedera pada pekerja.

Biomekanika merupakan ilmu yang memanfaatkan hukum fisika dan mekanika teknik untuk menjelaskan gerakan bagian tubuh (kinematik) dan memahami pengaruh gaya dan momen pada tubuh (kinematik). Selain itu, biomekanika adalah ilmu yang menggabungkan pengetahuan tentang biologi dan perilaku manusia (Evita & Sarvia, 2019).

Rapid Entire Body Assesment merupakan metode yang digunakan untuk menganalisis pekerjaan berdasarkan posisi tubuh. Teknik ini digunakan untuk mengevaluasi aktivitas atau pekerjaan yang dapat menyebabkan ketidaknyamanan, seperti kelelahan pada leher, tulang punggung, lengan, dll. Nilai-nilai ini menunjukkan tingkat risiko yang dihadapi oleh karyawan saat melakukan tugas mereka dan beban kerja yang ditanggungnya. (Lindawati & Mulyono, 2019).

Oleh karena itu penelitian dilakukan pada peternakan Z secara langsung dengan pekerja yaitu sebanyak 3 pekerja. Penelitian ini menggunakan metode biomekanika untuk menganalisis besar gaya tekan pada L5/S1 pada pekerja sehingga dapat mengetahui keterbatasan batas beban yang dapat diangkat oleh pekerja, postur kerja *Rapid Entire Body Assessment* (REBA) yang digunakan untuk mengetahui postur kerja yang baik pada saat melakukan pekerjaan dan antropometri yang digunakan untuk melakukan *redesign* atau pembuatan alat bantu bagi pekerja pada peternakan ayam Z.

2. Metode

Penelitian ini dilakukan di Peternakan Ayam Z. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah Biomekanika, Postur Kerja, dan Antropometri. Biomekanika merupakan ilmu yang mempelajari tentang gaya-gaya internal dan eksternal yang bekerja pada tubuh manusia serta dampak yang ditimbulkan oleh gaya-gaya tersebut (Lin et al., 2017), metode biomekanika bertujuan untuk mengetahui gaya tekan pada punggung (L5/S1) pada saat pengangkatan pakan ayam ke *trolley*. Postur Kerja dalam penelitian ini digunakan untuk mengetahui postur tubuh pada saat pemberian pakan ayam dan keluhan beban aktivitas karena pekerjaan dilakukan dengan cara berulang. Metode Antropometri bertujuan untuk menentukan ukuran dari redesain alat pakan ayam.

3. Hasil dan Pembahasan

a. Biomekanika

Berikut merupakan perhitungan Biomekanika:

$$W_{\text{Total}} = W_o + 2WH + 2WLA + 2WUA + WT \quad (1)$$

$$FC = W_{\text{Total}} \times \cos \theta - FA + FM \quad (2)$$

$$FA = PA \times AA \quad (3)$$

$$FM = \frac{M_{L5-S1} - F_A \cdot D}{E} \quad (4)$$

Berikut merupakan data rekapitulasi perhitungan Biomekanika:

Tabel 1. Hasil Rekapitulasi Biomekanika

Keterangan	Pekerja 1	Pekerja 2	Pekerja 3
W Total	903,34 N	873,12 N	801 N
FA	785,94 N	2209,1685 N	76,8645N
FM	8494,87 N	11456,3398 N	6233,31 N
FC	8494,87 N	9964,72 N	6170,42 N

Diketahui klasifikasi biomekanika dalam menganalisis *force compression* (FC) sebagai berikut:

$FC < AL$ = Aman (dapat diterima)

$AL \leq FC < MPL$ = Hati-Hati (diperlukan penanganan *administrative control*)

$FC \geq MPL$ = Berbahaya (membutuhkan penanganan *Engineering Control*)

Dimana:

AL (*Action Limit*) = 3430 N

MPL (*Maximum Persible Limit*) = 6379 N

Dari 3 pekerja diperoleh hasil *force compression* yang termasuk ke dalam kategori berbahaya dan hati-hati, dan diperlukannya penanganan *engineering control* berupa *job redesign* yaitu mengurangi pengangkatan pakan dalam 1 hari kerja, dan otomatisasi seperti merancang atau mendesain alat bantu pakan ayam otomatis, sehingga dapat mengurangi gaya tekan pada tulang punggung (L5/S1). *Force compression* dipengaruhi oleh jarak vertikal dan jarak horizontal di mana jarak dan massa benda mempengaruhi postur kerja yang terbentuk. Perbaikan postur kerja yang dilakukan juga dapat menggunakan *administrative control* yaitu berupa peregangan, penjadwalan waktu istirahat dan rotasi kerja.

b. Postur Kerja

Pada penelitian ini menggunakan pengukuran REBA untuk mengetahui postur kerja ketika sedang mengangkat pakan ayam. Berikut hasil rekapitulasi perhitungan REBA pada pekerja:

Tabel 2. Hasil Skor REBA

Pekerja	Keterangan	Keterangan
Pekerja 1	9	<i>High Risk</i>
Pekerja 2	7	<i>Medium Risk</i>
Pekerja 3	6	<i>Medium Risk</i>

Berdasarkan hasil perhitungan postur pekerja 1 diperoleh skor REBA sebesar 9 termasuk ke dalam klasifikasi (*Hight Risk, Investigate and Implements Change*), pada

pekerja 2 dan 3 dengan skor REBA 7 dan 6 dan termasuk ke dalam klasifikasi (*Medium Risk, Further Investigate. Change soon*). diperlukan perubahan dengan penggunaan *administrative control* berupa *training* karena terdapat gerakan yang berulang pada saat pemberian pakan sehingga dapat menyebabkan terjadinya *Cummulative Trauma Disorders (CTDs)* dan juga dapat dilakukan penanganan *engineering control* seperti otomasi dengan mendesain dan merancang alat bantu yang dapat meminimalisir terjadinya cedera pada pekerja

c. Antropometri

Pada penelitian ini menggunakan 30 pekerja, di mana 5 pekerja pertama sebagai data primer dan 25 pekerja selanjutnya sebagai data sekunder. Rentan usia pekerja yang digunakan 19-45 tahun. Berikut merupakan data pekerja antropometri:

Tabel 3. Data Pekerja Antropometri

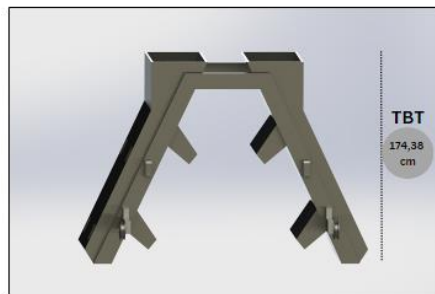
Pekerja	Usia	Dimensi Tubuh		
		LTM	TSB	TBT
Pekerja 1	28	9	113.5	170.5
Pekerja 2	42	8.8	111.5	169.5
Pekerja 3	45	8	109	164
Pekerja 4	35	8.8	112.5	168
Pekerja 5	38	9	111.5	167.5
Pekerja 6	31	9	107	168
Pekerja 7	21	8	110.5	177
Pekerja 8	22	8.5	115	168
Pekerja 9	20	8.8	106.5	169
Pekerja 10	21	7.8	110	158
Pekerja 11	19	8	108	167
Pekerja 12	21	8.7	106	150.8
Pekerja 13	20	8.8	107	165
Pekerja 14	21	8.58	108.3	157
Pekerja 15	20	8.8	104	155.5
Pekerja 16	21	8.8	105	155
Pekerja 17	21	9.1	106	159
Pekerja 18	21	9.8	108.6	159
Pekerja 19	21	8.7	107	169
Pekerja 20	20	8.5	116	170
Pekerja 21	20	9.1	106.5	156.5
Pekerja 22	21	8.8	107	165.5
Pekerja 23	20	8.5	111	165.5
Pekerja 24	22	8.4	107	162
Pekerja 25	21	8.8	108	155
Pekerja 26	22	8.7	107.5	166.5
Pekerja 27	20	9.3	107	162.5
Pekerja 28	20	8	108	156.5
Pekerja 29	21	8	109	152
Pekerja 30	20	8.6	110.5	163.5

Berikut merupakan tabel persentil:

Tabel 4. Persentil

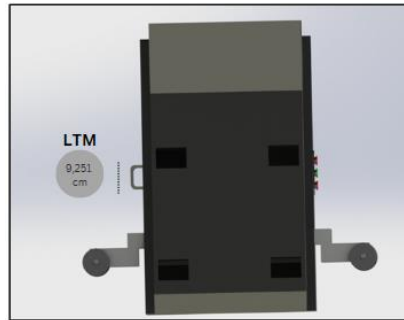
Antropometri	Rata-Rata	P5	P50	P95
TBT	163,44	152,5	163,44	174,38
TSB	113,30	108,31	113,30	113,30
LTM	8,4	7,54	8,4	9,25

Hasil perhitungan yang didapatkan, kemudian dilakukan penentuan persentil sebagai acuan dalam ukuran. Dimensi tubuh TBT digunakan sebagai acuan tinggi alat yang akan dibuat. Diketahui berdasarkan pengolahan yang dilakukan pada persentil 95 diperoleh hasil sebesar 174,38 cm, pada persentil 50 diperoleh hasil 163,44 cm dan pada persentil 5 diperoleh hasil 152,5 cm. Pada alat yang akan redesain menggunakan persentil 95 agar alat dapat digunakan untuk pekerja yang memiliki ukuran tubuh ekstrem. Dimensi TSB digunakan sebagai acuan tinggi tombol *on*, *off* dan *emergency* pada alat yang akan dibuat. Berdasarkan pengolahan yang dilakukan pada persentil 95 diperoleh hasil 113,30 cm, pada persentil 50 diperoleh hasil sebesar 108,31 cm dan pada persentil 5 diperoleh hasil sebesar 103,31 cm. Pada alat yang akan dibuat digunakan persentil 50 sebesar 113,30 cm agar tombol *on*, *off*, dan *emergency* dapat dijangkau oleh setiap pekerja karena menggunakan persentil rata-rata. Dimensi tubuh LTM digunakan sebagai acuan lebar genggam pada produk yang akan dibuat, diketahui berdasarkan pengolahan data persentil yang telah dilakukan pada persentil 95 diperoleh hasil sebesar 9,251, pada persentil 50 diperoleh hasil sebesar 8,4 cm dan pada persentil 5 diperoleh hasil sebesar 7,548 cm. Pada alat yang akan dibuat digunakan persentil 95 agar lebar genggam dapat digunakan oleh pekerja yang memiliki dimensi tubuh yang ekstrem.



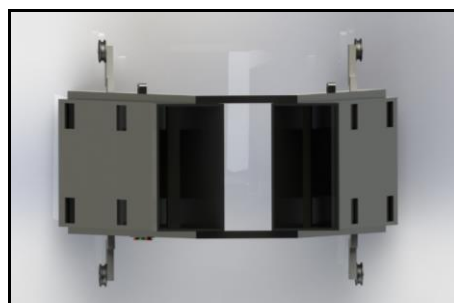
Gambar 1. Front View

Berdasarkan **Gambar 1.** Merupakan gambar alat pakan ayam otomatis dari tampak depan. Pada gambar dilampirkan ukuran antropometri untuk tinggi alat yaitu sebesar 174,38 cm.



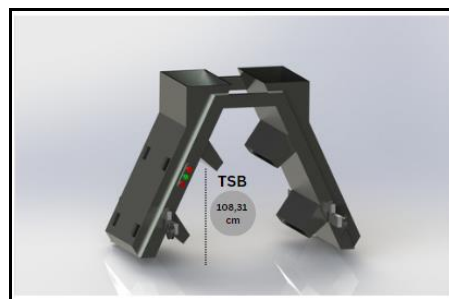
Gambar 2. *Side View*

Pada **Gambar 2.** Merupakan gambar alat pakan ayam otomatis dari tampak sisi samping, di mana pada gambar memuat informasi ukuran pegangan pada alat pakan ayam yaitu sebesar 9,251 cm.



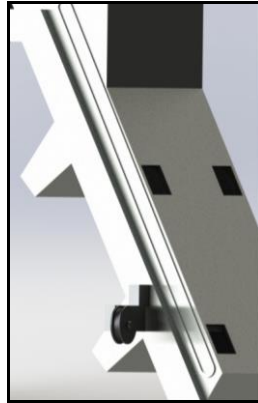
Gambar 3. *Top View*

Pada Gambar 3. merupakan gambar alat pakan ayam otomatis dari tampak atas.



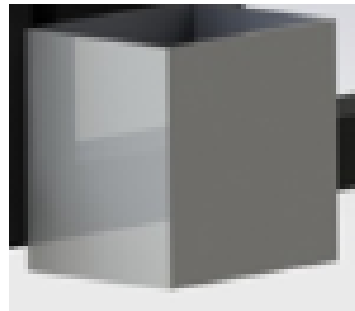
Gambar 4. *Asymmetric View*

Pada **Gambar 4.** Merupakan gambar alat pakan ayam otomatis dari tampak sisi asimetris, di mana pada gambar memuat informasi ukuran tinggi tombol *on*, *off* dan *emergency* pada alat pakan ayam yaitu sebesar 108,31 cm.



Gambar 5. Slot

Pada **Gambar 5**. Merupakan gambar *slot* pada alat pakan ayam otomatis.



Gambar 6. Alat Bantu Tuang

Pada **Gambar 6**. Merupakan gambar alat bantu tuang pada alat pakan ayam otomatis.

d. Mekanisme

Pekerja dapat menekan tombol on untuk memulai kerja mesin, pekerja menaruh pakan ayam pada alat bantu tuang, di mana alat bantu tuang akan mengangkat pakan dengan bantuan *slot*, dan menuangkan pakan ayam ke dalam corong sampai terisi penuh. Di dalam alat terdapat papan dimana jika semakin terisi maka papan akan semakin turun ke bawah. Setelah itu alat akan berpindah di mana terdapat roda dan rel sehingga memudahkan perpindahan alat, lalu alat akan mengeluarkan pakan ayam melalui corong di bagian bawah.

e. Material

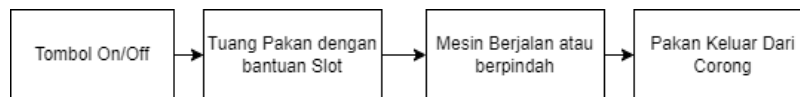
Produk yang direkomendasikan terbuat dari bahan besi *hollow*, di mana besi ini memiliki bobot yang lebih ringan dan cocok dalam memudahkan transportasi atau perpindahan tempat. Besi *hollow* memiliki kekuatan yang cukup tinggi, besi *hollow* lebih tahan lama dan kuat (Aufa et al., 2022). Pada tombol on off menggunakan material *stainless steel plastic*. Pada bagian roda menggunakan *rubber* dan ABS di mana dapat meminimalisir suara perpindahan alat.

f. Keunggulannya

Dengan adanya inovasi produk pemberi pakan dan vitamin ayam otomatis, dapat meminimalkan terjadinya cedera bagi pekerja, seperti pada pekerjaan sebelumnya pengangkatan pakan ayam masih dilakukan secara manual, di mana pakan ayam tersebut seberat 50kg dan memerlukan 12 karung pakan ayam atau setara dengan 600kg

untuk satu kali pemberian pakan, sehingga pekerjaan tersebut dapat diatasi dengan adanya alat inovasi pakan ayam di mana pengangkatan dapat dilakukan dengan alat bantu tuang.

Pada pekerjaan pemberian pakan ayam dilakukan secara manual dimana pemberian pakan dilakukan secara membungkuk dan berulang, dengan alat yang di rekomendasikan dapat menggantikan pekerjaan yang sebelumnya dilakukan secara manual.



Gambar 7. Mekanisme Alat

4. Simpulan

Kesimpulan yang didapatkan pada penelitian ini, hasil *Force Compression* pada pekerja 1 sebesar 8494,87 N, untuk pekerja 2 sebesar 9964,72 N, dan pekerja 3 sebesar 6170,42 N. Pada pekerja 1 dan 2 melewati batas *Maximum Permissible Limit* (MPL) sehingga dibutuhkan penanganan *engineering control*, sedangkan pekerja 3 termasuk dalam kategori hati-hati sehingga dibutuhkan penanganan *administrative control*. Untuk hasil REBA yang didapatkan, pekerja 1 dengan skor REBA 9 termasuk ke dalam klasifikasi *High Risk, Investigate and Implements Change*, pada pekerja 2 dan 3 diketahui skor REBA 7 dan 6 termasuk ke kategori *Medium Risk, Further Investigate*. Oleh karena itu, rekomendasi yang dapat diberikan pada alat pemberi pakan ayam dengan menyesuaikan, di mana pekerjaan yang sebelumnya dilakukan secara manual seperti mengangkat, membawa dan menuangkan pakan ke dalam tempat pakan ayam, tentu dapat menyebabkan risiko cedera bagi pekerja. Alat bantu kerja yang dibuat memiliki ukuran berdasarkan pendekatan antropometri yang telah dilakukan dengan mengukur dimensi tubuh yang diperlukan seperti TBT, TSB dan LTM sehingga alat yang digunakan dapat diterapkan bagi semua ukuran dimensi tubuh seperti ukuran *design for extreme*, dan ukuran dimensi tubuh rata-rata. Pada alat yang dibuat terdapat alat pemberian pakan dengan mekanisme alat dapat berjalan dan mengeluarkan pakan sesuai dengan jumlah pakan dan waktu pemberian pakan yang telah ditentukan. Alat yang dibuat memiliki alat tambahan yaitu alat bantu angkat pakan, di mana dengan mekanisme alat tersebut dapat bergerak ke atas dan mengangkat pakan ayam lalu menuangkannya ke dalam tempat pakan utama.

Daftar Pustaka

- Agustin, H., Arianto, M. E., Idrus, S. M. M., Fajrianty, A., Nurrohmah, N., & Yudhistira, N. (2020). Edukasi Manual Material Handling untuk Pencegahan Musculoskeletal Disorders pada Pekerja Industri Katering di Desa Banguntapan, Bantul. *Journal of Appropriate Technology for Community Services*, 1(2), 63–73.
- Aufa, N., Wastuty, P. W., Muchamad, B. N., Mentayani, I., Heldiansyah, J. C., Tahmidillah, M. Y., & Nuryanti, Q. (2022). Bantuan Wastafel Ergonomis dalam Mencegah Penularan Covid-19 untuk Anak Paud di Kota Banjarbaru. *Jurnal Pengabdian ILUNG (Inovasi Lahan Basah Unggul)*, 2(1), 102. <https://doi.org/10.20527/ilung.v2i1.5130>
- Evita, E., & Sarvia, E. (2019). Perbaikan postur kerja pada operator stasiun Two For One atas menggunakan metode REBA. *Journal of Integrated System*, 2(1), 37–50.
- Faizun, A. (2023). Pengaruh Peternakan Unggas Terhadap Lingkungan. *Prosiding Sains Dan Teknologi*, 2(1), 475–481.
- Fauziah, E. A., Araafi, A., Mauliyand, S., & Hasibuan, A. (2024). Analisis Potensi Bahaya

- Lingkungan Kerja Pada Nelayan Tradisional di Wilayah Pesisir. *Alahyan Jurnal Pengabdian Masyarakat Multidisiplin*, 2(1), 45–51.
- Fitra, F., Desyanti, D., & Suhaidi, M. (2020). Penerapan data antropometri siswa dalam perancangan tempat berwhudu di SDIT ATH Thaariq-2 Dumai. *J-ABDIPAMAS (Jurnal Pengabdian Kpd. Masyarakat)*, 4(1), 1–10.
- Kartikasari, O. (2020). *Teknologi Biogas sebagai Penanganan Limbah Gas pada Industri Peternakan*.
- Lin, A. S. P., Boyd, G., Varela, A., & Guldborg, R. E. (2017). Biomechanics. In *Molecular and Integrative Toxicology*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-56192-9_7
- Lindawati, L., & Mulyono, M. (2019). Evaluasi postur kerja pengrajin batik tulis Aleyya Batik di Yogyakarta. *Journal of Public Health Research and Community Health Development*, 1(2), 131.
- Said, A. I., Perdana, A. H., Syafira, A. M., & Rahajeng, D. P. (2023). Redesain Troli Pada UMKM Ayam Goreng Keraton Dengan Menggunakan Metode Antropometri Dan Handtools Design. *East Journal of Innovative Community Services*, 1(02), 47–61.

Pengukuran Waktu Baku CMM Inspection Menggunakan Metode Jam Henti di PT. XYZ

Nessa Vindy Auglian¹⁾, Rahmadiyah Dwi Astuti²⁾

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Jalan Ir. Sutami 36,
Surakarta, Jawa Tengah 57126, Indonesia

Email: nessavindy18@student.uns.ac.id, rahmadiyahdwi@staff.uns.ac.id

ABSTRAK

PT. XYZ merupakan perusahaan manufaktur di Indonesia yang terlibat dalam desain, produksi, dan pengembangan pesawat udara. Penelitian ini berfokus pada perhitungan waktu baku CMM *Inspection* pada *part front spar*, *rear spar*, dan juga *weapon pylon* dengan tujuan untuk menghasilkan waktu yang tepat dalam melakukan proses inspeksi. Metode yang digunakan pada perhitungan waktu baku yaitu metode jam henti (*stopwatch*). Hasil dari pengolahan data yang telah dilakukan sebanyak 1 kali pengamatan, diperoleh waktu baku awal pada proses inspeksi *part front spar* adalah 4 jam 36 menit, *part rear spar* adalah 3 jam 57 menit, dan *part weapon pylon* adalah 1 jam 15 menit. Kemudian diperoleh waktu baku setelah melakukan eliminasi aktivitas *waste* pada *front spar* adalah 4 jam 22 menit, pada *part rear spar* adalah 3 jam 50 menit, dan pada *part weapon pylon* tidak mengalami perubahan.

Kata kunci: *Stopwatch Time Study*, Waktu Baku, *Waste*

1. Pendahuluan

Pengukuran waktu kerja adalah salah satu kegiatan untuk menentukan lama waktu yang dibutuhkan oleh operator dengan kemampuan rata-rata untuk menyelesaikan suatu kegiatan pekerjaan. Dengan mengaplikasikan prinsip dan teknik pengaturan kerja yang optimal dalam sistem kerja, maka akan diperoleh alternatif metode pelaksanaan kerja yang dianggap memberikan hasil yang efektif dan efisien (Ramadhani, 2020). Pengukuran kerja dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu pengukuran waktu kerja secara langsung merupakan pencatatan waktu yang diperlukan oleh operator serta mengamati secara langsung pekerjaan yang dilakukan oleh operator dalam melakukan pekerjaannya, dan pengukuran waktu kerja secara tidak langsung adalah kegiatan operator dilain tempat dalam melakukan pencatatan dan pengamatan waktu operasi dengan mengandalkan rekaman pekerjaan yang dilakukan oleh pekerja menggunakan alat bantu.

Setelah melakukan pengukuran waktu kerja, diperlukan pengukuran waktu baku yang digunakan untuk meningkatkan produktivitas kerja dan menghilangkan pemborosan. Waktu baku adalah waktu yang dibutuhkan untuk mengerjakan atau menyelesaikan suatu pekerjaan atau aktivitas oleh tenaga kerja yang wajar pada situasi dan kondisi yang normal. Dalam penentuan waktu baku, terdapat dua tahapan yang harus dilakukan, yaitu perhitungan waktu normal yang merupakan waktu kerja yang telah mempertimbangkan faktor penyesuaian (Monita, Sutresna, 2020) dan penentuan kelonggaran (*allowance*). Pemberian kelonggaran dimaksudkan untuk memberikan kesempatan kepada teknisi agar dapat melakukan kegiatan-kegiatan, sehingga didapatkan waktu baku yang tepat sesuai dengan data waktu kerja yang lengkap dan mewakili sistem kerja yang diamati.

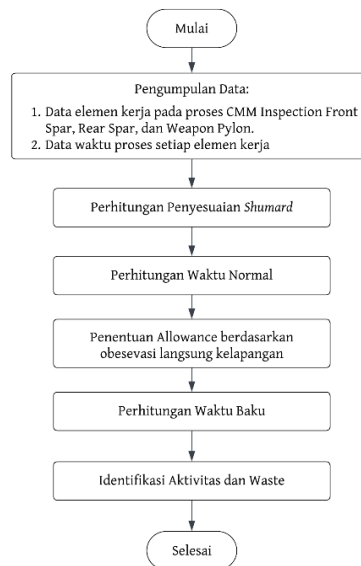
Pada penelitian ini pengukuran waktu baku dilakukan dengan cara menggunakan metode *stopwatch time study* (jam henti) yang merupakan teknik pengukuran waktu dengan membaca dan mencatat waktu kerja dari pekerjaan secara berulang-ulang dilakukan dengan mengembalikan jarum pada angka nol. Karakteristik dari sistem kerja yang dapat diukur menggunakan metode ini, yaitu aktivitas yang dilakukan secara berulang, produk dapat dinyatakan secara kuantitatif, pekerjaan dengan aktivitas yang bersifat homogen (Pradana, Pulansari, 2021).

Penelitian ini dilakukan dengan melakukan pengamatan secara langsung selama 1 kali pengamatan dengan memperhatikan faktor-faktor yang ada dalam metode penyesuaian (*Shumard*) dan kelonggaran (*allowance*). Tujuan dilakukannya penelitian ini yaitu memeriksa bagaimana aktivitas dilakukan, menyederhanakan atau memodifikasi metode operasi untuk mengurangi

2. Metode

Pengukuran waktu kerja adalah salah satu kegiatan untuk menentukan lama waktu yang dibutuhkan oleh operator dengan kemampuan rata-rata untuk menyelesaikan suatu kegiatan pekerjaan. Dengan mengaplikasikan prinsip dan teknik pengaturan kerja yang optimal dalam sistem kerja, maka akan diperoleh alternatif metode pelaksanaan kerja yang dianggap memberikan hasil yang efektif dan efisien (Ramadhani, 2020). Pengukuran waktu kerja ini dilakukan secara langsung ke lapangan dengan menggunakan metode jam henti (*Stopwatch time study*). Setelah dilakukan pengukuran waktu kerja, langkah selanjutnya adalah pengolahan data dengan menggunakan penyesuaian Shumard. Penyesuaian metode Shumard memberikan patokan-patokan penilaian melalui kelas-kelas *performance* kerja di mana setiap kelas mempunyai nilai sendiri-sendiri (Jasri, 2016). kemudian dilakukan penentuan *allowance* yang bertujuan untuk memberikan kesempatan kepada teknisi agar dapat melakukan kegiatan-kegiatan, sehingga didapatkan waktu baku yang tepat sesuai dengan data waktu kerja yang lengkap dan mewakili sistem kerja yang diamati. Setelah menentukan penyesuaian dan *allowance* maka dapat dilanjutkan dengan menghitung waktu normal dan juga waktu baku.

Berikut merupakan alur perhitungan waktu baku pada proses CMM *Inspection* di PT. XYZ.



Gambar 1. Alur Perhitungan Waktu Baku pada Proses CMM *Inspection* di PT. XYZ

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Metode Penyesuaian Shumard

Berikut merupakan tabel rekapitulasi waktu proses dan hasil dari penyesuaian menggunakan metode Shumard yang dilakukan untuk mendapatkan perhitungan terkait faktor kecepatan kerja operator. Perhitungan penyesuaian Shumard dapat diperoleh menggunakan rumus berikut:

$$P = \frac{\text{penyesuaian kelas shumard}}{\text{penyesuaian normal shumard}}$$

(1)

Tabel 1. Waktu Proses dan Penyesuaian *Shumard Front Spar*

PROSES	NAME OF WORK	Waktu Proses (detik)	Penyesuaian Shumard	Rata-rata Penyesuaian
Preperation	menambil front spar	94	85	1,42
	mengelap Front Spar	250	75	1,25
Free State	mengecek gerakan mesin pada monitor	154	90	1,50
	Memindahkan titik nol	281	75	1,25
	Running program	4478	50	0,83
	memperbaiki out toleran	91	90	1,50
	mengecek kembali	18	90	1,50
	mengedit report	179	90	1,50
	memosisikan mesin (break)	6	90	1,50
Finish Hole	menambahkan pemberat pada Front Spar	13	85	1,42
	Memindahkan titik nol	252	75	1,25
	Running program	4178	50	0,83
Restrain	mengecek report	201	90	1,50
	Memindahkan titik nol	262	90	1,50
	Running program	3361	50	0,83
	mengganti pemberat	23	95	1,58
	Running program (1)	199	50	0,83
	cek report	6	90	1,50
	memindahkan pemberat ke bagian lain	15	95	1,58
	Running program	90	50	0,83
	cek report	7	90	1,50
	memindahkan pemberat ke bagian lain	13	95	1,58
	running program	92	50	0,83
	Cek report	6	90	1,50
	memindahkan pemberat	13	95	1,58
	running program	93	50	0,83
	cek report	5	90	1,50
	mindahin pemberat	16	95	1,58
	running program	87	50	0,83
	cek report	12	90	1,50
	memindahkan pemberat	7	95	1,58
	running program	118	50	0,83
	cek report	246	90	1,50
	Save	4	95	1,58
	Total		14870	

Tabel 2. Waktu Proses dan Penyesuaian *Shumard Rear Spar*

PROSES	NAME OF WORK	Waktu Proses (detik)	Penyesuaian Shumard	Rata-rata Penyesuaian
Preperation	Machine Preperation (posisi nol)	2448	40	0,67
	mengambil pemberat dari front spar	8	95	1,58
	mengganti front spar dengan rear spar	66	85	1,42
	mengambil kain	7	95	1,58
	menuangkan cairan	15	70	1,17
	mengelap rear spar	137	75	1,25
	menambah cairan	18	95	1,58
	lap kembali ke rear spar	76	75	1,25
Free State	membuka program	10	95	1,58
	mengecek pergerakan mesin melalui monitor	169	90	1,50
	mencari titik nol	509	75	1,25
	Running program	4437	50	0,83
	memperbaik out toleran	89	90	1,50
Restrain	mengedit report	10	90	1,50
	menambahkan pemberat	17	95	1,58
	mencari titik nol	242	75	1,25
	running program	5202	50	0,83
	menaikkan speed mesin dari 40% ke 50%	3	95	1,58
	cek report	259	90	1,50
	save	6	95	1,58
Total		13728		27,00

Tabel 3. Waktu Proses dan Penyesuaian *Shumard Weapon Pylon*

PROSES	NAME OF WORK	Waktu Proses (detik)	Penyesuaian Shumard	Rata-rata Penyesuaian
Preperation	Mengecek Load Probe	35	90	1,50
	Mengecek pergerakan mesin melalui monitor	154	90	1,50
	memosisikan part di meja	245	90	1,50
inspection	memindahkan titik nol	360	85	1,42
	running program	1806	85	1,42
	cek report	27	95	1,58
	save	6	95	1,58
Total		2633		10,50

Berdasarkan perhitungan langsung waktu proses dan penyesuaian Shumard pada tabel di atas, diketahui total waktu proses pada inspeksi *front spar* sebesar 14870 detik, dan total rata-rata penyesuaian Shumard sebesar 44,67. Pada inspeksi *rear spar* total waktu proses sebesar 13728 detik dan total rata-rata penyesuaian Shumard sebesar 27. Pada inspeksi *weapon pylon* total waktu proses sebesar 2633 detik dan total rata-rata penyesuaian Shumard sebesar 10,50

3.2 Penentuan Allowance

Penetapan nilai kelonggaran didapatkan melalui observasi di lapangan terkait kondisi *real time* operator dan kondisi lingkungan di sekitar ketika operator sedang melakukan suatu elemen kerja (Tirkaamiana, 2019). Pada penelitian ini penetapan nilai kelonggaran diperoleh dengan cara menggunakan sumber referensi yang memiliki kegiatan yang sama. Berikut merupakan rekapitulasi nilai allowance pada setiap elemen kerja.

Tabel 4. Allowance Front Spar

Elemen Kerja	Faktor yang berpengaruh (%)							TOTAL (%)
	Tenaga	Sikap Kerja	Gerakan Kerja	Kelelahan Mata	Suhu	Atmosfer	Lingkungan	
mengambil front spar	4,00%	2,50%	1,00%	0,50%	2,50%	0,00%	0,00%	10,50%
mengelas front spar	4,00%	2,50%	1,00%	0,50%	2,50%	0,00%	0,00%	10,50%
mengecek gerakan mesin pada monitor	4,00%	2,50%	1,00%	0,50%	2,50%	0,00%	0,00%	10,50%
Memindahkan titik nol	4,00%	2,50%	1,00%	0,50%	2,50%	0,00%	0,00%	10,50%
Running program	7,00%	1,00%	3,00%	2,00%	5,00%	5,00%	1,00%	24,00%
memperbaiki out toleran	4,00%	2,00%	0,00%	12,50%	5,00%	0,00%	0,00%	23,50%
mengecek kembali	4,00%	2,00%	0,00%	12,50%	5,00%	0,00%	0,00%	23,50%
mengedit report	4,00%	2,00%	0,00%	12,50%	5,00%	0,00%	0,00%	23,50%
memposisikan mesin (break)	4,00%	2,50%	1,00%	0,50%	2,50%	0,00%	0,00%	10,50%
menambahkan pemberat pada Front Spar	2,00%	0,50%	0,00%	6,00%	2,50%	0,00%	0,00%	11,00%
Memindahkan titik nol	4,00%	2,50%	1,00%	0,50%	2,50%	0,00%	0,00%	10,50%
Running program	7,00%	1,00%	3,00%	2,00%	5,00%	5,00%	1,00%	24,00%
mengecek report	4,00%	2,00%	0,00%	12,50%	5,00%	0,00%	0,00%	23,50%
Memindahkan titik nol	4,00%	2,50%	1,00%	0,50%	2,50%	0,00%	0,00%	10,50%
Running program	7,00%	1,00%	3,00%	2,00%	5,00%	5,00%	1,00%	24,00%
menganti pemberat	2,00%	0,50%	0,00%	6,00%	2,50%	0,00%	0,00%	11,00%
Running program	7,00%	1,00%	3,00%	2,00%	5,00%	5,00%	1,00%	24,00%
cek report	4,00%	2,00%	0,00%	12,50%	5,00%	0,00%	0,00%	23,50%
memindahkan pemberat ke bagian lain	2,00%	0,50%	0,00%	6,00%	2,50%	0,00%	0,00%	11,00%
Running program	7,00%	1,00%	3,00%	2,00%	5,00%	5,00%	1,00%	24,00%
cek report	4,00%	2,00%	0,00%	12,50%	5,00%	0,00%	0,00%	23,50%
memindahkan pemberat ke bagian lain	2,00%	0,50%	0,00%	6,00%	2,50%	0,00%	0,00%	11,00%
running program	7,00%	1,00%	3,00%	2,00%	5,00%	5,00%	1,00%	24,00%
Cek report	4,00%	2,00%	0,00%	12,50%	5,00%	0,00%	0,00%	23,50%
memindahkan pemberat	2,00%	0,50%	0,00%	6,00%	2,50%	0,00%	0,00%	11,00%
running program	7,00%	1,00%	3,00%	2,00%	5,00%	5,00%	1,00%	24,00%
cek report	4,00%	2,00%	0,00%	12,50%	5,00%	0,00%	0,00%	23,50%
mindahin pemberat	2,00%	0,50%	0,00%	6,00%	2,50%	0,00%	0,00%	11,00%
running program	7,00%	1,00%	3,00%	2,00%	5,00%	5,00%	1,00%	24,00%
cek report	4,00%	2,00%	0,00%	12,50%	5,00%	0,00%	0,00%	23,50%
memindahkan pemberat	2,00%	0,50%	0,00%	6,00%	2,50%	0,00%	0,00%	11,00%
running program	7,00%	1,00%	3,00%	2,00%	5,00%	5,00%	1,00%	24,00%
cek report	4,00%	2,00%	0,00%	12,50%	5,00%	0,00%	0,00%	23,50%
Save	4,00%	2,50%	1,00%	0,50%	2,50%	0,00%	0,00%	10,50%

Sumber : Rahma *et al.*, 2019; Yasra *et al.*, 2019; Bora *et al.*, 2020

Tabel 5. Allowance Rear Spar

Elemen Kerja	Faktor yang berpengaruh (%)							TOTAL (%)
	Tenaga	Sikap Kerja	Gerakan Kerja	Kelelahan Mata	Suhu	Atmosfer	Lingkungan	
Machine Preparation (posisi nol)	4,00%	2,50%	1,00%	0,50%	2,50%	0,00%	0,00%	10,50%
mengambil pemberat dari front spar	4,00%	2,50%	1,00%	0,50%	2,50%	0,00%	0,00%	10,50%
menganti front spar dengan rear spar	4,00%	2,50%	1,00%	0,50%	2,50%	0,00%	0,00%	10,50%
mengambil lain	4,00%	2,50%	1,00%	0,50%	2,50%	0,00%	0,00%	10,50%
menuangkan cairan	4,00%	2,50%	1,00%	0,50%	2,50%	0,00%	0,00%	10,50%
mengelas rear spar	4,00%	2,50%	1,00%	0,50%	2,50%	0,00%	0,00%	10,50%
menambah cairan	4,00%	2,50%	1,00%	0,50%	2,50%	0,00%	0,00%	10,50%
lap kembali ke rear spar	4,00%	2,50%	1,00%	0,50%	2,50%	0,00%	0,00%	10,50%
membuka program	4,00%	2,50%	1,00%	0,50%	2,50%	0,00%	0,00%	10,50%
mengecek pergerakan mesin melalui monitor	4,00%	2,50%	1,00%	0,50%	2,50%	0,00%	0,00%	10,50%
mencari titik nol	4,00%	2,50%	1,00%	0,50%	2,50%	0,00%	0,00%	10,50%
Running program	7,00%	1,00%	3,00%	2,00%	5,00%	5,00%	1,00%	24,00%
memperbaiki out toleran	4,00%	2,00%	0,00%	12,50%	5,00%	0,00%	0,00%	23,50%
mengedit report	4,00%	2,00%	0,00%	12,50%	5,00%	0,00%	0,00%	23,50%
menambahkan pemberat	2,00%	0,50%	0,00%	6,00%	2,50%	0,00%	0,00%	11,00%
mencari titik nol	4,00%	2,50%	1,00%	0,50%	2,50%	0,00%	0,00%	10,50%
running program	7,00%	1,00%	3,00%	2,00%	5,00%	5,00%	1,00%	24,00%
menaikkan speed mesin dari 40% ke 50%	4,00%	2,00%	0,00%	12,50%	5,00%	0,00%	0,00%	23,50%
cek report	4,00%	2,50%	1,00%	0,50%	2,50%	0,00%	0,00%	10,50%
save	4,00%	2,50%	1,00%	0,50%	2,50%	0,00%	0,00%	10,50%

Sumber : Rahma *et al.*, 2019; Yasra *et al.*, 2019; Bora *et al.*, 2020

Tabel 6. Allowance Weapon Pylon

Elemen Kerja	Faktor yang berpengaruh (%)							TOTAL (%)
	Tenaga	Sikap Kerja	Gerakan Kerja	Kelelahan Mata	Suhu	Atmosfer	Lingkungan	
Mengecek Load Probe	4,00%	2,50%	1,00%	0,50%	2,50%	0,00%	0,00%	10,50%
Mengecek pergerakan mesin melalui monitor	4,00%	2,50%	1,00%	0,50%	2,50%	0,00%	0,00%	10,50%
memposisikan part di meja	4,00%	2,50%	1,00%	0,50%	2,50%	0,00%	0,00%	10,50%
memindahkan titik nol	4,00%	2,50%	1,00%	0,50%	2,50%	0,00%	0,00%	10,50%
running program	7,00%	1,00%	3,00%	2,00%	5,00%	5,00%	1,00%	24,00%
cek report	4,00%	2,50%	1,00%	0,50%	2,50%	0,00%	0,00%	10,50%
save	4,00%	2,50%	1,00%	0,50%	2,50%	0,00%	0,00%	10,50%

Sumber : Rahma *et al.*, 2019; Yasra *et al.*, 2019; Bora *et al.*, 2020

Pengamatan ini berfokus pada faktor-faktor yang dapat mempengaruhi *performance* operator seperti tenaga yang dikeluarkan, sikap kerja, Gerakan kerja, kelelahan pada mata, suhu ruangan, atmosfer ruangan, dan juga lingkungan kerja.

3.3 Perhitungan Waktu Normal dan Waktu Baku

Waktu normal adalah waktu kerja dari suatu pekerjaan yang mempertimbangkan faktor penyesuaian dari pekerja tersebut. Perhitungan waktu normal dilakukan untuk mendapatkan waktu untuk menyelesaikan pekerjaan oleh operator dalam keadaan atau kondisi yang wajar dan dengan kemampuan rata-rata. Berikut merupakan rumus perhitungan waktu normal.

$$\text{Waktu Normal} = \text{Waktu proses} \times \text{Penyesuaian} \quad (2)$$

Waktu baku adalah waktu kerja yang mempertimbangkan penyesuaian dan faktor kelonggaran yang telah didapatkan dari perhitungan sebelumnya. Perhitungan waktu baku dilakukan untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan oleh operator untuk menyelesaikan suatu elemen kerja. Berikut merupakan rumus perhitungan waktu baku.

$$\text{Waktu Baku} = (1 + \text{Kelonggaran}) \times \text{Waktu normal} \quad (3)$$

Berikut merupakan rekapitulasi dari perhitungan waktu normal dan waktu baku

Tabel 7. Waktu Normal dan Waktu Baku *Front Spar*

Elemen Kerja	Waktu Normal (detik)	Allowance (%)	Waktu Baku (detik)
mengambil front spar	133	11%	147
mengelap front spar	313	11%	345
mengecek gerakan mesin pada monitor	231	11%	255
Memindahkan titik nol	351	11%	388
Running program	3732	24%	4627
memperbaiki out toleran	137	24%	169
mengecek kembali	27	24%	33
mengedit report	269	24%	332
memosisikan mesin (break)	9	11%	10
menambahkan pemberat pada Front Spar	18	11%	20
Memindahkan titik nol	315	11%	348
Running program	3482	24%	4317
mengecek report	302	24%	372
Memindahkan titik nol	393	11%	434
Running program	2801	24%	3473
mengganti pemberat	36	11%	40
Running program	166	24%	206
cek report	9	24%	11
memindahkan pemberat ke bagian lain	24	11%	26
Running program	75	24%	93
cek report	11	24%	13
memindahkan pemberat ke bagian lain	21	11%	23
running program	77	24%	95
Cek report	9	24%	11
memindahkan pemberat	21	11%	23
running program	78	24%	96
cek report	8	24%	9
mindahin pemberat	25	11%	28
running program	73	24%	90
cek report	18	24%	22
memindahkan pemberat	11	11%	12
running program	98	24%	122
cek report	369	11%	408
Save	6	11%	7
Total			16608

Tabel 8. Waktu Normal dan Waktu Baku *Rear Spar*

Elemen Kerja	Waktu Normal (detik)	Allowance (%)	Waktu Baku (detik)
Machine Preperation (posisi nol)	1632	10,50%	1803
mengambil pemberat dari front spar	13	10,50%	14
mengganti front spar dengan rear spar	94	10,50%	103
mengambil kain	11	10,50%	12
menuangkan cairan	18	10,50%	19
mengelap rear spar	171	10,50%	189
menambah cairan	29	10,50%	31
lap kembali ke rear spar	95	10,50%	105
membuka program	16	10,50%	17
mengecek pergerakan mesin melalui monitor	254	10,50%	280
mencari titik nol	636	10,50%	703
Running program	3698	24,00%	4585
memperbaiki out toleran	134	23,50%	165
mengedit report	15	23,50%	19
menambahkan pemberat	27	11,00%	30
mencari titik nol	303	10,50%	334
running program	4335	24,00%	5375
menaikkan speed mesin dari 40% ke 50%	5	23,50%	6
cek report	389	10,50%	429
save	10	10,50%	10
Total			14232

Tabel 9. Waktu Normal dan Waktu Baku *Weapon Pylon*

Elemen Kerja	Waktu Normal (detik)	Allowance (%)	Waktu Baku (detik)
Mengecek Load Probe	53	10,50%	58
Mengecek pergerakan mesin melalui monitor	231	10,50%	255
memposisikan part di meja	368	10,50%	406
memindahkan titik nol	510	10,50%	564
running program	2559	24,00%	3173
cek report	43	10,50%	47
save	10	10,50%	10
Total			4513

Berdasarkan tabel di atas, diketahui jumlah total waktu baku pada proses inspeksi *front spar* sebesar 16608 detik, total waktu baku pada *rear spar* sebesar 14232 detik, dan total waktu baku pada *weapon pylon* sebesar 4513 detik.

3.4 Identifikasi *Activity* dan *Waste*

Dari elemen kerja di atas, masih terdapat beberapa elemen kerja yang tidak perlu dilakukan atau dilakukan secara berulang-ulang yang tidak memberikan nilai tambah produk. Oleh karena itu perlu dilakukan identifikasi aktivitas yang terdiri dari tiga kategori yaitu *Value Added Activity*, *Necessary Non Value Added Activity*, dan *Non Value Added Activity*.

Tabel 10. Identifikasi Activity dan Waste CMM Inspection Front Spar

Proses	Name Of Work	Working Category			Jenis Waste
		VA	NNVA	NVA	
Preperation	mengambil front spar	✓			
	mengelap front spar			✓	Over Processing
Free State	mengecek gerakan mesin pada monitor	✓			
	Memindahkan titik nol		✓		
	Running program	✓			
	memperbaiki out toleran	✓			
	mengecek kembali	✓			
	mengedit report	✓			
Finish Hole	menempisiskan mesin (break)			✓	Over Processing
	menambahkan pemberat pada Front Spar	✓			
	Memindahkan titik nol		✓		
	Running program	✓			
Restrain	mengecek report	✓			
	Memindahkan titik nol		✓		
	Running program	✓			
	mengganti pemberat	✓			
	Running program (1)	✓			
	cek report	✓			
	memindahkan pemberat ke bagian lain	✓			
	Running program	✓			
	cek report	✓			
	memindahkan pemberat ke bagian lain			✓	Over Processing
	running program			✓	Over Processing
	Cek report			✓	Over Processing
	memindahkan pemberat			✓	Over Processing
	running program			✓	Over Processing
	cek report			✓	Over Processing
	mindahin pemberat			✓	Over Processing
	running program			✓	Over Processing
	cek report			✓	Over Processing
	memindahkan pemberat			✓	Over Processing
	running program			✓	Over Processing
cek report	✓				
Save	✓				

Tabel 11. Identifikasi Activity dan Waste CMM Inspection Rear Spar

Proses	Name Of Work	Working Category			Jenis Waste
		VA	NNVA	NVA	
Preperation	Machine Preperation (posisi nol)		✓		
	mengambil pemberat dari front spar			✓	Over Processing
	mengganti front spar dengan rear spar	✓			
	mengambil kain			✓	Over Processing
	menuangkan cairan			✓	Over Processing
	mengelap rear spar			✓	Over Processing
	menambah cairan			✓	Over Processing
Free State	lap kembali ke rear spar			✓	Over Processing
	membuka program		✓		
	mengecek pergerakan mesin melalui monitor	✓			
	mencari titik nol		✓		
	Running program	✓			
	memperbaiki out toleran	✓			
Restrain	mengedit report	✓			
	menambahkan pemberat	✓			
	mencari titik nol		✓		
	running program	✓			
	menaikkan speed mesin dari 40% ke 50%			✓	Over Processing
cek report	✓				
save	✓				

Tabel 12. Identifikasi Activity dan Waste CMM Inspection Weapon Pylon

Proses	Name Of Work	Working Category			Jenis Waste
		VA	NNVA	NVA	
Preperation	Mengecek Load Probe	✓			
	Mengecek pergerakan mesin melalui monitor	✓			
	memposisikan part di meja	✓			
Inspection	memindahkan titik nol		✓		
	running program	✓			
	cek report	✓			
	save	✓			

Pada hasil identifikasi aktivitas di atas, pada inspeksi *front spar* terdapat 13 elemen kerja yang merupakan *Non Value Added Activity* dengan jenis *waste* adalah *over processing*. Pada proses inspeksi *rear spar* terdapat 7 elemen kerja yang merupakan *Non Value Added Activity* dengan jenis *waste* adalah *over processing*. Pada proses inspeksi wepon pylon tidak terdapat elemen kerja yang merupakan *Non Value Added Activity*.

4. Simpulan

Berdasarkan hasil perhitungan waktu baku CMM *Inspection*, dapat diketahui bahwa:

1. Pada proses inspeksi *fornt spar* waktu baku awal adalah selama 4 jam 36 menit, Total waktu baku tersebut lebih lama dibandingkan dengan waktu yang diperkirakan oleh pihak *management*. Hal ini dapat terjadi karena adanya kemungkinan dari pihak *management* tidak memperkirakan *allowance* dan masih terdapat aktivitas yang dilakukan secara berulang-ulang dan adanya pemborosan. Salah satu cara untuk mengefektifkan waktu dan mengatasi pemborosan ini adalah dengan melakukan identifikasi aktivitas kedalam kategori VA, NVA, dan NNVA dan diperoleh 13 elemen kerja yang merupakan *non value added activity* yang kemudian dieliminasi dan diperoleh waktu baku akhir sebesar 4 jam 22 menit.
2. Pada proses inspeksi *rear spar* waktu baku awal adalah 3 jam 57 menit. Total waktu baku tersebut tidak melebihi waktu perkiraan dari pihak manajemen, hanya berbeda 2 menit, namun masih terdapat kegiatan pemborosan. Salah satu cara untuk mengefektifkan waktu dan mengatasi pemborosan ini adalah dengan melakukan identifikasi aktivitas kedalam kategori VA, NVA, dan NNVA dan diperoleh 7 elemen kerja yang merupakan *non value added activity* yang kemudian dieliminasi dan diperoleh waktu baku akhir sebesar 3 jam 50 menit.
3. Pada proses inspeksi *weapon pylon* waktu baku awal adalah 1 jam 15 menit. Waktu baku ini tidak melebihi waktu perkiraan dan aktivitas pada proses ini sedikit sehingga tidak ditemukan adanya pemborosan. Oleh karena itu, total waktu baku akhir pada proses inspeksi *weapon pylon* sama seperti total waktu baku awal.

Daftar Pustaka

- Bora, M. A., & Kamariah, T. (2020). PENENTUAN PENGUKURAN WAKTU BAKU PEMERIKSAAN WIRE CONNECTOR PADA OUT GOING CHECK MENGGUNAKAN METODE JAM HENTI. *Jurnal Industri Kreatif (JIK)*, 4(01), 57-62.
- Damayanthi, H., & Hidayat, S. (2020, November). Pengukuran Waktu Baku Stasiun Kerja Pada Pipa Jenis Sio Menggunakan Metode Jam Henti di PT. XYZ. In *Seminar dan Konferensi Nasional IDEC* (pp. 1-9).
- Febriana, N. V., Lestari, E. R., & Anggarini, S. (2015). Analisis pengukuran waktu kerja dengan metode pengukuran kerja secara tidak langsung pada bagian pengemasan di PT Japfa Comfeed Indonesia Agroindustri, 4(1), 66-73. *Tbk. Industria: Jurnal Teknologi dan Manajemen*
- Gusmon, A. S., & Hutomo, A. (2019). Time Study Analysis to Find Normal Time Workforce Scheduling ILO Standard Time: *Case Study of Parking Pay Station Bandung Electronic Center. Global Business and Management Research*, 11(1), 1-8.
- Nurdiansyah, D., Fatimah, S. N., Nurwiyanti, H., & Fauzi, M. (2022). Usulan Efisiensi Waste Proses Produksi Bed Sheet di PT. ABC Menggunakan Metode Value Stream Mapping. *Jurnal Bayesian: Jurnal Ilmiah Statistika dan Ekonometrika*, 2(1), 93-106.
- Pradana, A. Y., & Pulansari, F. (2021). Analisis pengukuran waktu kerja dengan stopwatch time study untuk meningkatkan target produksi di PT. XYZ. *JUMINTEN*, 2(1), 13-24.
- Rahayu, M., & Juhara, S. (2020). Pengukuran Waktu Baku Perakitan Pena Dengan Menggunakan Waktu Jam Henti Saat Praktikum Analisa Perancangan Kerja. *Jurnal Pendidikan dan Aplikasi Industri (UNISTEK)*, 7(2), 93-97.
- Rahma, M., & Pratama, A. J. (2019). Pengukuran Waktu Baku Stasiun Kerja Perakitan Komponen Pesawat Garuda Indonesia Temperature Control Valve (TCV) Menggunakan Metode Jam Henti Pada PT. GMF Aeroasia. *IENACO (Industrial Engineering National Conference) 7 2019*.

- Tirkaamiana, D., Pertiwi, O. R., & Prabaswari, A. D. (2019). Analisis Efisiensi Kerja Berdasarkan Waktu Baku pada UMKM XYZ Yogyakarta. In Seminar Dan Konferensi Nasional IDEC (pp. 2-3).
- Yasra, R., & Sahril, M. (2019). PENETAPAN WAKTU STANDAR OPERATOR PELAYANAN PENGISIAN BBM DENGAN MENGGUNAKAN METODE WORK SAMPLING.(STUDI KASUS DI PT. PERTAMINA RETAIL SPBU COCO SEILADI BATAM). *Jurnal Industri Kreatif (JIK)*, 3(01), 79-88.

Perancangan Alat Pembersih Kotoran Otomatis Kandang Ayam dengan *Ergonomic Function Deployment* (EFD) Berdasarkan Evaluasi REBA

Zahara Intan Wigathie¹⁾, Lulu Riesta Nugroho²⁾, Ridho Muzaik Ramadhan³⁾, Felix Rasyada Rafif⁴⁾, Amarria Dila Sari⁵⁾, dan Ratih Dianingtyas Kurnia*⁶⁾

^{1,2,3,4,5,6)}Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia, Jalan Kaliurang 14.5, Sleman, Yogyakarta, 55584, Indonesia

Email: 22522300@students.uui.ac.id, 21522001@students.uui.ac.id, 21522098@students.uui.ac.id, 22522038@students.uui.ac.id, amarria@uui.ac.id, rd.kurnia@uui.ac.id

ABSTRAK

Peternakan ayam di Indonesia memainkan peran penting dalam produksi pangan, tetapi pekerjaannya sering menghadapi risiko cedera muskuloskeletal akibat postur kerja yang tidak ergonomis. Sekitar 40% pekerja mengalami masalah kesehatan muskuloskeletal, dan sektor ini memiliki tingkat kecelakaan kerja yang lebih tinggi dibandingkan rata-rata nasional. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis postur kerja serta merancang sebuah alat bantu yang mengurangi kelelahan dan risiko muskuloskeletal pada pekerja. Usulan berupa alat pembersih kotoran otomatis dirancang menggunakan pendekatan *Ergonomic Function Deployment* (EFD) dan antropometri, dengan mempertimbangkan hasil evaluasi postur kerja. Metode *Rapid Entire Body Assessment* (REBA) digunakan untuk menilai risiko ergonomis dari postur kerja saat membersihkan kotoran ayam. Alat usulan memiliki dua mode pembersihan yaitu waktu dan kotoran tertumpuk. Hasil penelitian menunjukkan bahwa alat ini mampu mengurangi risiko cedera muskuloskeletal pada pekerja serta meningkatkan kesejahteraan ayam dan efektivitas manajemen kandang. Rekomendasi penelitian ini adalah penerapan alat pembersih otomatis secara luas di peternakan ayam.

Kata kunci: Antropometri, EFD, REBA, Muskuloskeletal, Peternakan Ayam

1. Pendahuluan

Peternakan merupakan salah satu sektor penting dalam memenuhi kebutuhan pangan manusia (Rojun & Nadziroh, 2020). Dalam sektor pertanian, peternakan ayam menjadi salah satu komponen yang signifikan dalam memproduksi produk-produk ternak seperti daging ayam, telur, dan produk turunannya. Di Indonesia, peternakan ayam telah mengalami perkembangan pesat dalam beberapa dekade terakhir, dan industri ini telah menjadi sumber pendapatan utama bagi banyak petani dan perusahaan peternakan. Namun, perkembangan industri peternakan ayam juga menghadapi berbagai tantangan, termasuk masalah bahaya ergonomi bagi pekerja. Sektor peternakan unggas adalah salah satu sektor dengan jumlah pekerja terbesar yang melakukan sebagian besar aktivitasnya secara manual. Pekerjaan yang menuntut postur fisik yang tidak nyaman dan kekuatan berlebihan memiliki dampak negatif terhadap kenyamanan fisiologis, yang mengakibatkan penurunan efisiensi kerja (Tulika Srivastava & Aditi Vats, 2013).

Beban Penyakit Global (GBD) menunjukkan tingginya prevalensi gangguan muskuloskeletal pada pekerja selama tahun-tahun kerja mereka; ini adalah penyebab utama kecacatan kerja (18,5%) (Vos et al., 2016). Di Indonesia, sekitar 40% pekerja peternakan mengalami masalah kesehatan muskuloskeletal seperti nyeri punggung dan sendi (BPJS Ketenagakerjaan, 2021). Selama waktu kerja, sekitar 40% dihabiskan dalam posisi berdiri, 30% dalam posisi berlutut atau jongkok, dan 30% dalam posisi membungkuk. Sektor peternakan memiliki tingkat kecelakaan kerja yang 1,5 kali lebih tinggi dibandingkan rata-rata nasional (Kementerian Pertanian RI, 2022), dengan sekitar 55% pekerja mengalami cedera muskuloskeletal akibat postur kerja yang tidak ergonomis (Universitas Gadjah Mada, 2020).

Sekitar 25% pekerja telah mengikuti pelatihan keselamatan dan kesehatan kerja (K3) (Kementerian Ketenagakerjaan RI, 2023). Meskipun ada data yang mengungkapkan besarnya masalah ini, penelitian sebelumnya seperti yang dilakukan oleh Hendriani (2021) dan Devi et al. (2018) menunjukkan beberapa keterbatasan, terutama dalam hal kurangnya perhatian terhadap aspek ergonomi dan kesehatan kerja. Penelitian-penelitian tersebut sering kali terfokus pada identifikasi dan dokumentasi berbagai masalah ergonomi yang dihadapi pekerja, seperti postur tubuh yang buruk dan gerakan berulang yang dapat menyebabkan cedera muskuloskeletal. Namun, penelitian sebelumnya kurang memberikan solusi praktis atau inovatif untuk mengatasi masalah tersebut secara langsung. Misalnya, Hendriani (2021) memberikan gambaran mengenai bahaya ergonomi tetapi tidak mengembangkan perangkat atau sistem spesifik yang dapat memitigasi risiko tersebut. Demikian pula, Devi et al. (2018) mencatat pentingnya ergonomi dalam konteks peternakan ayam, tetapi tidak menyarankan desain atau teknologi yang dapat diterapkan untuk memperbaiki kondisi kerja secara nyata.

Salah satu masalah utama yang sering dihadapi dalam peternakan ayam adalah kotoran yang menumpuk di kandang. Penumpukan kotoran ini tidak hanya menyebabkan penyebaran penyakit dan penurunan kualitas udara di sekitar kandang, tetapi juga menimbulkan risiko kesehatan dan keselamatan kerja bagi pekerja yang terlibat dalam proses pembersihan (Olivianti et al., 2016). Pekerja sering kali harus berhadapan dengan lingkungan kerja yang tidak ergonomis, termasuk postur kerja yang buruk, gerakan berulang, dan paparan terhadap bahan berbahaya, yang dapat menyebabkan cedera dan penyakit akibat kerja. Proses pengambilan kotoran ayam memerlukan pekerja untuk membungkuk, mengangkat, dan memindahkan kotoran secara manual, yang dapat memengaruhi postur dan meningkatkan *musculoskeletal disorders* (Saputra et al., 2017). Aktivitas kerja pada pekerja peternakan ayam tergolong sedang dan memerlukan perbaikan untuk meningkatkan efisiensi dan keamanan. Selain itu, ditemukan nilai indeks pengangkatan yang melebihi batas aman dan menunjukkan bahwa pengangkatan manual dalam proses pakan ternak berisiko tinggi dan membutuhkan tindakan perbaikan untuk mencegah cedera (Mahmood et al., 2020; Putri et al., 2020)).

Salah satu solusi untuk mengatasi masalah kotoran di kandang ayam adalah dengan menggunakan alat pembersih kotoran otomatis. Alat ini adalah perangkat mekanis atau otomatis yang dirancang khusus untuk mengumpulkan dan menghilangkan kotoran ayam secara teratur tanpa perlu campur tangan manusia secara langsung (Muhtadin et al., 2020a). Penggunaan alat pembersih kotoran otomatis dapat membantu mengurangi penumpukan kotoran, mengurangi risiko penyakit, meningkatkan kesejahteraan ayam, serta mempermudah pengelolaan kandang.

Dalam mengembangkan dan mengimplementasikan alat pembersih kotoran otomatis pada kandang ayam, perlu diperhatikan beberapa aspek penting termasuk evaluasi postur kerja sebagai identifikasi masalah serta pertimbangan akan kebutuhan pengguna tanpa mengesampingkan aspek ergonomi. Metode postur kerja adalah pendekatan yang digunakan untuk merancang dan mengevaluasi tugas-tugas kerja manusia dengan mempertimbangkan aspek-aspek seperti postur tubuh, gerakan tubuh, dan ergonomi (Tiogana & Hartono, 2020). Untuk mengurangi keluhan fisik yang dialami operator, diperlukan pendekatan ergonomi. Salah satu metode yang dapat digunakan dalam adalah *Ergonomic Function Deployment* (EFD) sebagai acuan merancang produk yang ergonomis serta sesuai dengan keinginan dan kebutuhan konsumen. Selain itu, digunakan pula metode antropometri yang merupakan studi ilmiah mengenai pengukuran dimensi tubuh manusia (Suroso & Yulvito, 2020).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa postur kerja serta merancang sebuah alat bantu yang mengurangi kelelahan dan resiko muskuloskeletal pada pekerja. Alat dirancang agar dapat dioperasikan secara efisien, ergonomis, dan sesuai dengan kebutuhan para pekerja. Desain yang

memperhatikan ergonomi dapat mengurangi risiko cedera, kelelahan, dan meningkatkan produktivitas pekerja dalam industri peternakan ayam. Selain itu, alat ini diharapkan dapat mempermudah proses pembersihan, mengurangi penumpukan kotoran, dan meningkatkan efisiensi serta kesehatan lingkungan di sekitar kandang. Dengan mengintegrasikan desain ergonomis dan pengukuran antropometri, alat ini diharapkan mampu memberikan solusi inovatif yang memperbaiki kondisi kerja serta meningkatkan produktivitas dan kesejahteraan pekerja.

Secara keseluruhan, perancangan alat pembersih kotoran otomatis dalam kandang ternak ayam adalah langkah yang inovatif dan berpotensi memberikan banyak manfaat, termasuk peningkatan produktivitas serta kesejahteraan pekerja. Dalam konteks pertanian modern yang semakin berkembang, penggunaan teknologi dan metode ini dapat menjadi solusi yang penting untuk mengatasi masalah ergonomi dan kesejahteraan pekerja dalam industri peternakan ayam.

2. Metode

Penelitian ini dilakukan berdasarkan hasil evaluasi postur kerja menggunakan metode REBA, dilanjutkan dengan perancangan alat usulan menggunakan metode *Ergonomic Function Deployment* (EFD) dan antropometri. Metode REBA (*Rapid Entire Body Assessment*) adalah metode digunakan untuk melakukan perhitungan dan analisis menyeluruh terhadap semua bagian tubuh manusia, mengidentifikasi risiko ergonomis, serta mengevaluasi postur kerja secara komprehensif untuk menentukan potensi bahaya dan kebutuhan perbaikan (Pratiwi et al., 2021). Metode REBA digunakan untuk menganalisis tingkat serta risiko postur kerja saat aktivitas mengambil dan membuang kotoran ayam, sehingga dapat mengidentifikasi postur-postur yang berpotensi menimbulkan risiko cedera dan menentukan area perbaikan dalam desain alat.

Dalam perancangan alat usulan, metode *Ergonomic Function Deployment* (EFD) digunakan sebagai salah satu alat ukur kebutuhan pengguna. *Ergonomic Function Deployment* adalah metode yang dikembangkan dari *Quality Function Deployment* (QFD) untuk merancang produk yang memenuhi keinginan konsumen dan prinsip-prinsip ergonomis (Mamun & Hasanuzzaman, 2020; Ramadhani & Hahury, 2023). EFD memperkenalkan hubungan baru antara preferensi konsumen dan elemen ergonomi produk, memastikan bahwa desain alat memenuhi kebutuhan pengguna dalam hal kenyamanan, keamanan, dan efektivitas (Safira et al., 2022). Setelah identifikasi kebutuhan user dilakukan, dimensi yang digunakan dalam alat usulan diambil dari hasil pengukuran antropometri. Antropometri merupakan metode studi tentang pengukuran berbagai dimensi tubuh manusia, termasuk ukuran, bentuk, dan karakteristik fisik lainnya (Wijaya et al., 2016). Antropometri digunakan dalam penelitian ini untuk merancang alat pembersih kotoran ayam yang bertujuan mengurangi risiko cedera tubuh berulang (CTDs) pada pekerja. Dengan mempertimbangkan ukuran tubuh dan postur tiga pekerja berusia 30-45 tahun yang terlibat dalam aktivitas pengambilan dan pembuangan kotoran ayam di peternakan Kabupaten Temanggung, desain alat disesuaikan agar sesuai dengan dimensi tubuh mereka. Penyesuaian ini diharapkan dapat mengurangi risiko CTDs, meningkatkan kenyamanan, dan efisiensi kerja, serta memberikan manfaat ergonomis yang signifikan bagi para pekerja.

3. Hasil dan Pembahasan

Pengukuran Skor REBA

Operator bertanggung jawab atas proses pengelolaan kotoran ayam dengan waktu kerja selama sekitar 3 jam dalam sehari dan tidak terdapat jadwal resmi. Dalam waktu tersebut, mereka aktif melakukan serangkaian tugas mulai dari pengangkatan kotoran ayam, pemindahan, hingga pembuangan ke tempat yang ditetapkan. Aktivitas mengangkat dan membawa kotoran

ayam memerlukan kehati-hatian dan ketelitian agar prosesnya berjalan lancar dan higienis. Setelah menjalankan tugas selama periode kerja, operator memanfaatkan waktu istirahat selama sekitar 2 jam untuk meregenerasi tenaga, memulihkan kondisi fisik, dan mempersiapkan diri untuk kembali menjalankan tugas dengan efisiensi optimal.



Gambar. 1 Sudut Pengukuran REBA pada Operator 1, 2, dan 3.

Gambar 1 merupakan sudut pengukuran REBA yang diukur dari postur kerja tiga responden penelitian ini. Ketiga operator melakukan pengangkatan beban dengan postur membungkuk dengan besar sudut yang berbeda-beda. Tabel 1 mencantumkan besar sudut yang diukur beserta skor REBA yang dihasilkan.

Tabel 1. Pengukuran Skor REBA

Parameter	Operator 1		Operator 2		Operator 3	
	Sudut Ukur	Skor REBA	Sudut Ukur	Skor REBA	Sudut Ukur	Skor REBA
Sudut Leher	68°	+2	102°	+2	67°	+2
Sudut Punggung	74°	+4	68°	+4	71°	+4
Sudut Kaki	86°	+2	87°	+2	87°	+2
Skor Tabel A	6		6		6	
Tambahan Skor Beban	1		1		1	
Total Skor Tabel A	7		7		7	
Sudut Lengan Atas	10°	+2	8°	+2	13°	+2
Sudut Lengan Bawah	48°	+1	64°	+1	50°	+1
Sudut Pergelangan Tangan	9°	+2	17°	+2	18°	+2
Skor Tabel B	2		2		2	
Tambahan Skor Genggaman	1		1		1	
Total Skor Tabel B	3		3		3	
Tambahan Skor Postur	1		1		1	
Total Skor Akhir	7		7		7	
Tingkat Risiko	Sedang		Sedang		Sedang	
Tindakan	Diperlukan		Diperlukan		Diperlukan	

Berdasarkan analisis hasil pengukuran REBA terhadap tiga operator, ketiganya memperoleh skor 7 yang dikategorikan dalam level risiko sedang, yang menunjukkan bahwa mereka semua memerlukan tindakan perbaikan (Jordan et al., 2023). Skor ini mengindikasikan bahwa postur tubuh mereka dalam pekerjaan saat ini berisiko menyebabkan cedera *musculoskeletal disorders* (MSDs). Risiko ini disebabkan oleh postur tubuh yang terlalu buruk saat melakukan pekerjaan mengambil dan membuang kotoran ayam.

Ergonomic Function Deployment (EFD)

Pendekatan ini bertujuan untuk menganalisis informasi terkait kebutuhan operator dan yang mendukung prinsip-prinsip desain ergonomis produk.

Tabel 2. Kebutuhan Operator

No	Kebutuhan Operator
1	Nyaman digunakan
2	Aman digunakan
3	Dapat mengurangi beban kerja
4	Dapat mengurangi resiko MSDs

Tabel 2 menyajikan hasil analisis data tentang kebutuhan operator dalam mempermudah pekerjaan pembersihan kotoran yang masih dilakukan secara manual. Dari hasil penyusunan kebutuhan pengguna, fokus utama dalam memenuhi kebutuhan desain produk adalah menyediakan alat bantu berupa pembersih otomatis untuk mengurangi beban kerja manual.

Tabel 3. Analisa Data Kebutuhan Operator

Keinginan Operator	Need Statement
Nyaman digunakan	Ukuran alat sesuai dengan antropometri
Aman digunakan	Alat pembersih kotoran otomatis pada kandang ayam dapat digunakan dalam jangka waktu yang lama
Dapat mengurangi beban kerja	Design yang ergonomis
Dapat mengurangi MSDs	Dapat mengurangi postur tubuh yang tidak baik

Analisa data dari kebutuhan operator pada Tabel 3 menunjukkan bahwa alat harus memenuhi beberapa kriteria penting. Pertama, kenyamanan, yaitu ukuran alat harus sesuai dengan antropometri pengguna. Kedua, keamanan, yaitu alat harus dapat digunakan dalam jangka waktu lama tanpa menimbulkan risiko atau ketidaknyamanan. Ketiga, pengurangan beban kerja, yaitu desain alat harus ergonomis untuk mengurangi usaha manual. Terakhir, pengurangan risiko MSDs, yaitu alat harus dirancang untuk meminimalkan postur tubuh yang buruk dan mengurangi risiko cedera muskuloskeletal.

Tabel 4. Spesifikasi Rancangan Alat Pembersih Kotoran Otomatis

Need Statement	Karakteristik Teknis
Ukuran alat sesuai dengan antropometri	Alat dirancang sesuai ukuran tubuh rata-rata pengguna
Alat pembersih kotoran otomatis pada	Terbuat dari material tahan lama untuk

<i>Need Statement</i>	Karakteristik Teknis
kandang ayam dapat digunakan dalam jangka waktu yang lama	penggunaan jangka panjang
Design yang ergonomis	Desain ergonomis yang nyaman.
Dapat mengurangi postur tubuh yang tidak baik	Mengurangi posisi tubuh tidak nyaman dan gerakan berulang.

Sesuai dengan kebutuhan operator, maka dibentuklah karakteristik teknis seperti yang tertera pada Tabel 4. Ukuran alat harus disesuaikan dengan antropometri pengguna, memastikan bahwa alat nyaman digunakan oleh berbagai ukuran tubuh. Selain itu, alat harus terbuat dari material yang tahan lama untuk memastikan kinerja yang konsisten dalam jangka waktu lama. Desain ergonomis menjadi kunci untuk memberikan kenyamanan selama penggunaan, dengan fitur yang mempermudah kontrol dan pegangan. Terakhir, alat harus mengurangi posisi tubuh yang tidak nyaman dan gerakan berulang, mengurangi risiko cedera muskuloskeletal dan meningkatkan keselamatan serta efisiensi kerja.

Hasil penelitian ini menunjukkan bagaimana alat pembersih kotoran ayam otomatis yang diusulkan dapat diterapkan secara luas dalam industri peternakan ayam dan manfaat jangka panjangnya, terutama dalam mengatasi faktor bahaya ergonomi. Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan metode REBA, ditemukan bahwa operator dalam aktivitas mengambil dan membuang kotoran ayam menunjukkan postur yang berisiko dengan skor total yang menunjukkan tingkat risiko sedang dan memerlukan tindakan perbaikan. Alat pembersih kotoran otomatis ini dilengkapi dengan dua mode pembersihan yang berbeda, yaitu mode waktu dan mode kotoran tertumpuk, sehingga dapat membersihkan kandang secara mandiri dan otomatis. Mode waktu memungkinkan pengelola peternakan untuk mengatur jadwal pembersihan dengan berbagai interval waktu, sedangkan mode kotoran tertumpuk akan membersihkan kandang setiap kali kotoran telah menumpuk. Dengan menggunakan pembersih kotoran otomatis ini, kebersihan kandang ternak dapat terjaga dengan lebih baik tanpa memerlukan tenaga manusia, sehingga meningkatkan efisiensi usaha peternakan. Selain itu, alat ini dapat mengurangi risiko cedera akibat postur kerja yang buruk, meningkatkan produktivitas, dan kesejahteraan pekerja dalam jangka panjang.

Produk pembersih kotoran otomatis untuk kandang ternak ini menonjol dibandingkan dengan produk sebelumnya karena adopsi teknologi yang lebih maju dan solusi yang lebih efisien dalam menjaga kebersihan kandang. Berbeda dengan produk sebelumnya yang memerlukan intervensi manual, produk ini menawarkan dua mode pembersihan yang inovatif: mode waktu untuk penjadwalan pembersihan dengan interval waktu yang dapat diatur dan mode kotoran tertumpuk yang secara otomatis membersihkan kandang saat kotoran menumpuk. Hal ini memungkinkan pengelola peternakan untuk memiliki kontrol yang lebih baik atas kebersihan kandang tanpa perlu campur tangan langsung, mengurangi biaya operasional dan meningkatkan efisiensi dalam manajemen kotoran, serta menghadirkan lingkungan kandang yang lebih higienis bagi ternak, yang secara keseluruhan dapat mengoptimalkan produktivitas peternakan.

Antropometri

Perancangan alat pembersih kotoran ayam otomatis ini memerlukan dimensi antropometri untuk memastikan bahwa alat tersebut dapat digunakan dengan nyaman dan efisien oleh operator. Tabel 5 menunjukkan hasil pengukuran antropometri yang digunakan untuk merancang alat pembersih kotoran otomatis.

Tabel 5. Data Antropometri

No	Responden	Jenis Kelamin	Dimensi Tubuh (cm)				
			TBT	TMB	TGT	JT	TJL
1	Responden 1	Laki-laki	163	153	75	72	2.5
2	Responden 2	Perempuan	161	151	70	75	2
3	Responden 3	Laki-laki	165	156	76	77	2.5
4	Responden 4	Laki-laki	172	200	66	83.5	1.5
5	Responden 5	Laki-laki	167.5	156.5	74.5	80.5	1.5
6	Responden 6	Laki-laki	172.5	162	78	82	1.7
7	Responden 7	Laki-laki	162	148.5	71.5	77.5	1.7
8	Responden 8	Laki-laki	171	163.6	67	77.7	1.4
9	Responden 9	Laki-laki	177	169	62	75.5	1.3
10	Responden 10	Laki-laki	177	165.5	70	75	1.2
11	Responden 11	Laki-laki	165	155	75.5	79.5	2.8
12	Responden 12	Laki-laki	170	158	67	82	1.8
13	Responden 13	Laki-laki	176	160	73	87.5	1.5
14	Responden 14	Laki-laki	176	165	70	88.5	0.9
15	Responden 15	Laki-laki	168	155	75.5	85	1.6
16	Responden 16	Laki-laki	163.5	152	74.5	77.5	1.8
17	Responden 17	Laki-laki	177.5	167	70	73	1.6
18	Responden 18	Laki-laki	177	167.5	73	77	1.5
19	Responden 19	Laki-laki	162	152	73.6	80	1.1
20	Responden 20	Laki-laki	173.5	163.5	68	90	1.5
21	Responden 21	Perempuan	165	154	67	71.8	1.2
22	Responden 22	Perempuan	169.5	157.5	69	67	1.8
23	Responden 23	Perempuan	155.5	145	70	83	1
24	Responden 24	Perempuan	152.5	141.5	57	79.5	1.5
25	Responden 25	Perempuan	163.5	151	73	84	2.2
26	Responden 26	Perempuan	157.5	145.5	67.5	71.5	2
27	Responden 27	Perempuan	164	155	68.5	75.5	1
28	Responden 28	Perempuan	161	150.5	78	78.5	2.4
29	Responden 29	Perempuan	162.3	150	64.5	70.5	1
30	Responden 30	Perempuan	159	148	67	76.5	1

Data antropometri yang digunakan merupakan pengukuran yang terdiri dari tiga data primer dan 27 data sekunder yang diambil dari bank data. Pengukuran tersebut meliputi tinggi badan (TBT), tinggi mata berdiri (TMB), tinggi bahu berdiri (TGT), jangkauan tangan (JT), dan tinggi jangkauan lengan (TJL). Tiga data primer terdiri dari satu perempuan dan dua laki-laki dengan tinggi badan rata-rata 163 cm. Data sekunder melibatkan 19 laki-laki dan 8 perempuan dengan variasi dimensi tubuh yang lebih luas, seperti tinggi tubuh berkisar antara 152,5 cm hingga 177,5 cm.

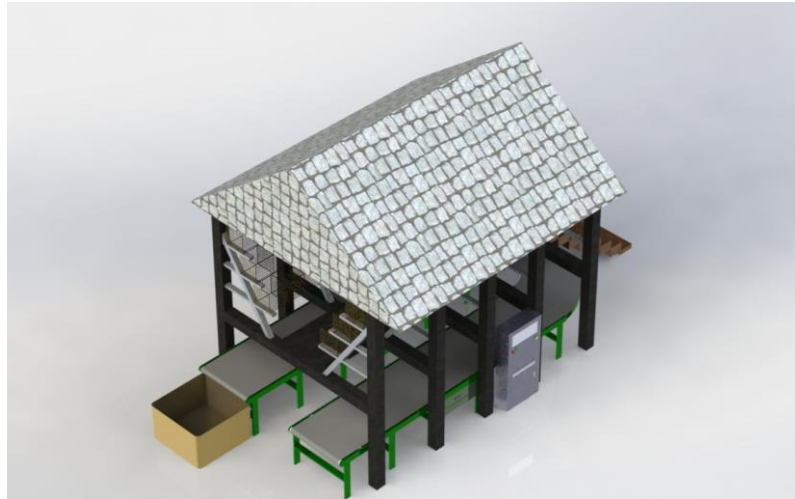
Tabel 6. Dimensi Tubuh

No	Dimensi Antropometri	Dimensi Produk	Perhitungan Ukuran			Hasil Akhir (cm)
			Persentil	Nilai Persentil (cm)	Allowance (cm)	
1	Tinggi Badan Tegak	Tinggi <i>Control Box</i>	P50	0	-	166,88
2	Tinggi Mata Berdiri	Tinggi LCD layar	P50	0	-	157,27
3	Jangkauan Tangan	Batas Aman Operator ke <i>Conveyor</i>	P5	-1,645	-	69,4
4	Tinggi Jari Telunjuk	Lebar Tombol	P95	+1,645	-	2,42
5	Tinggi Genggaman Tangan	Tinggi <i>Conveyor</i>	P5	-1,645	-	62,5

Untuk merancang pembersih kotoran otomatis di kandang ternak, digunakan dimensi antropometri yang memperhatikan kenyamanan dan efisiensi pengguna. Tabel 6 menunjukkan nilai persentil dan ukuran dimensi antropometri yang akan digunakan pada alat usulan. Tinggi *control box* disesuaikan dengan tinggi badan tegak rata-rata (TBT) persentil ke-50 sebesar 166,88 cm, sehingga dapat diakses dengan mudah oleh sebagian besar pekerja tanpa perlu membungkuk atau menjangkau terlalu tinggi. Tinggi LCD layar disesuaikan dengan tinggi mata berdiri rata-rata (TMB) persentil ke-50 sebesar 157,27 cm, memastikan pekerja dapat melihat layar dengan nyaman tanpa menundukkan kepala. Jangkauan tangan untuk batas aman operator ke *conveyor* diukur dengan persentil ke-5 (JT) sebesar 69,4 cm, untuk memastikan bahwa pekerja dengan jangkauan tangan minimal tetap dapat mengoperasikan *conveyor* dengan aman. Lebar tombol disesuaikan dengan tinggi jari telunjuk pada persentil ke-95 (TJT) sebesar 2,42 cm, untuk memastikan tombol dapat ditekan dengan mudah oleh semua pekerja, termasuk mereka dengan jari yang lebih besar. Terakhir, tinggi *conveyor* disesuaikan dengan tinggi genggaman tangan pada persentil ke-5 (TGT) sebesar 62,5 cm, untuk memastikan pekerja dengan tinggi genggaman tangan minimal dapat mengoperasikan *conveyor* dengan nyaman. Dimensi-dimensi ini dirancang untuk mengurangi postur kerja yang buruk dan meningkatkan kenyamanan serta efisiensi operasional di peternakan. Dimensi-dimensi tersebut diaplikasikan pada desain alat seperti yang nampak pada Gambar 2.

Inovasi Produk

Gambar 2 merupakan desain dari alat pembersih kotoran otomatis pada kandang ternak ayam. Kandang akan dibersihkan dengan dua mode yang berbeda, tergantung dari mode mana yang dipilih oleh operator. Mode tersebut adalah mode waktu dan mode kotoran tertumpuk. Kedua mode ini menggunakan komponen yang berbeda. Pada mode waktu komponen yang berperan adalah RTC (*Real Time Clock*) yaitu sebuah alat berupa jam elektronik yang berbentuk chip yang mampu menghitung waktu (detik hingga tahun) secara akurat dan menyimpan data waktu tersebut secara real time. Komponen inilah yang nantinya akan menjadi penentu kandang akan dibersihkan sesuai waktu yang telah ditetapkan oleh operator secara tepat akurat. Sedangkan pada mode kotoran tertumpuk komponen yang berperan adalah sensor. Dalam hal pembersih kotoran kandang otomatis, sensor yang digunakan berupa sensor pendeteksi gas.



Gambar. 2 Desain Alat Usulan

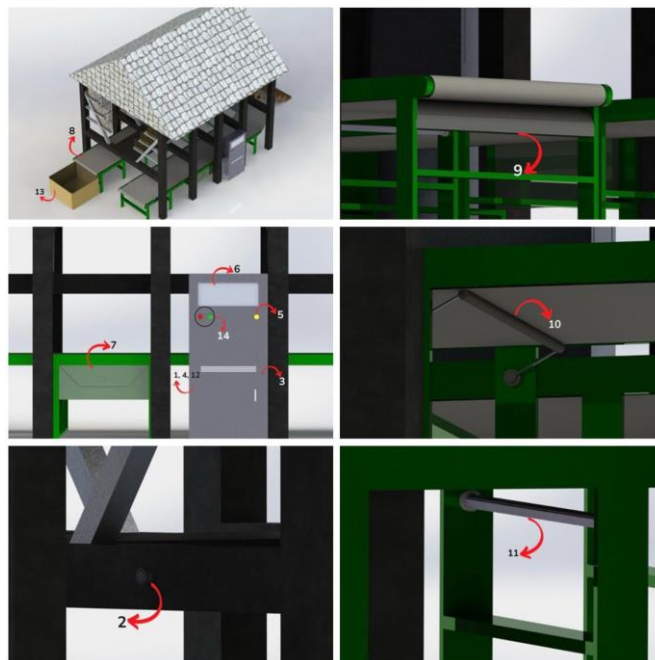
Penggunaan sensor pendeteksi keberadaan gas sebetulnya memanfaatkan sifat alamiah yang ditimbulkan dari kandang itu sendiri. Sebagaimana pada kandang yang terdapat kotoran ternak, kotoran ternak tersebut mengandung amonia yang akan tersebar ke udara. Gas amonia inilah yang nantinya akan terdeteksi oleh sensor untuk memberikan peringatan kepada sistem segera melakukan pembersihan kandang ternak. Sensor inilah yang selanjutnya berperan penting dalam hal memulai proses pembersihan kotoran pada kandang ternak ketika operator tidak mampu mengontrol kandang ternak secara penuh. Untuk dapat berjalan optimal, sensor akan diatur sesuai dengan ambang batas kandungan gas amonia yang diinginkan untuk segera melakukan pembersihan dengan memberikan peringatan ke sistem.

Pemilihan kedua mode ini dapat diatur dan sewaktu-waktu dapat diubah oleh operator sesuai dengan kebutuhan. Nantinya akan diadakan sebuah tombol *switch* untuk mengganti mode dari satu mode ke mode yang lain. Sehingga akan lebih memudahkan operator ketika membutuhkan salah satu mode dengan cepat dan otomatis. Kandang akan dibersihkan sebagaimana mode yang telah dipilih oleh operator. Ketika sistem telah menerima peringatan untuk segera melakukan pembersihan kotoran ternak, maka komponen yang bertugas dalam pembersihan akan mulai bekerja. Beberapa komponen yang terlibat pada proses pembersihan ini meliputi motor DC, *conveyor belt*, *swiper*, penyemprot serta penyikat. Proses pembersihan atau pembuangan kotoran meliputi tiga tahap dalam satu kali proses pembersihan. Ketiga tahap tersebut yaitu pembuangan atau penyingkiran kotoran ternak, penyemprotan dengan air dan penggosokan sisa kotoran ternak sebagai tahap akhir pembersihan. *Swiper* yang bertugas menyingkirkan kotoran ternak yang berada pada lantai kandang yang diletakkan di bawah *conveyor belt*, terletak pada ujung lintasan *conveyor belt* sekaligus terletak di atas dari tempat penampungan kotoran ternak.

Penyikat serta penyemprot terletak di bawah *conveyor belt* setelah dari letak *swiper* jika dilihat dari arah pergerakan datangnya *conveyor belt* dari kandang menuju *swiper*. Hal ini bertujuan agar setelah kotoran disingkirkan menggunakan *swiper*, barulah lantai kandang ternak disikat dan dibersihkan dengan cara disemprot dengan air. Penyemprotan air sebelum penggunaan sikat pada *conveyor belt* adalah langkah krusial dalam memastikan kebersihan yang optimal pada lantai kandang. Dengan memulai dengan penyemprotan air, area dapat dibasahi terlebih dahulu, mempersiapkan permukaan untuk proses sikat berikutnya. Hal ini memungkinkan air untuk mengendurkan dan menghilangkan sebagian besar kotoran yang menempel pada *conveyor belt*. Kemudian, dengan menggunakan sikat, kotoran yang tersisa dapat lebih mudah terangkat dan

dibersihkan dengan lebih efisien. Dengan pendekatan ini, pengaturan urutan antara penyemprotan air dan penggunaan sikat pada *conveyor belt* menghasilkan proses pembersihan yang lebih efektif dan menyeluruh, memastikan tingkat kebersihan yang tinggi pada area kandang ternak.

Meski memiliki dua mode pembersihan kotoran kandang ternak yang berbeda, namun kedua mode tersebut dilakukan secara mandiri dan otomatis. Artinya adalah dalam melakukan proses pembersihan tidak lagi membutuhkan operator yang bekerja. Melainkan pembersih akan berjalan sendirinya dengan bantuan sistem yang telah dibuat. Apabila menggunakan mode waktu maka proses pembersihan akan dilakukan secara otomatis dengan jangka waktu yang telah ditentukan oleh operator secara konstan dan berkala dengan bantuan RTC. Sedangkan pada mode kotoran tertumpuk, pembersihan otomatis akan dimulai ketika kandungan gas amonia yang terdeteksi oleh sensor telah mencapai ambang batas yang ditentukan. Artinya proses pembersihan tidak dilakukan secara berkala dan konstan. Melainkan berdasarkan jumlah kuantitas kotoran ternak yang tertumpuk di kandang ternak. Tentunya dengan menggunakan bantuan sensor pendeteksi gas amonia.



Gambar. 3 Komponen Penyusun Produk

Alat pembersih kotoran ayam ini terdiri dari berbagai komponen dan sensor yang bekerja secara terpadu untuk memastikan pembersihan kandang dilakukan secara otomatis dan optimal, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3. Komponen-komponen utama yang menyusun alat ini meliputi:

1. Mikrokontroler atau Arduino UNO, sebagai otak pengendali utama dari sistem pembersih kotoran otomatis pada kandang ternak
2. Sensor pendeteksi gas, sebagai pengidentifikasi keberadaan gas amonia pada kandang ternak
3. *Control Box*, sebagai tempat untuk menaruh komponen dan *controlling* alat. Komponen yang berada didalam *control box* yaitu arduino, RTC, dan *power supply*
4. *Real Time Clock* (RTC), sebagai penyesuai waktu otomatis, menghitung waktu untuk menyimpan data waktu yang sudah diaktifkan pada sistem
5. *Switch*, sebagai pengganti mode pada sistem pembersih kotoran otomatis

6. *Liquid Crystal Display* (LCD), sebagai penampil informasi pada sistem
7. Motor DC, sebagai penggerak utama konveyor belt pada sistem
8. Konveyor *Belt*, sebagai media perantara jalur penggerak lantai kandang ternak
9. *Swiper*, sebagai pembersih atau penyingkir kotoran ternak
10. Penyikat, sebagai penyingkat atau penggosok kotoran ternak serta pembersih tambahan
11. Penyemprot, sebagai penyemprot air untuk membersihkan sisa kotoran ternak
12. *Power supply*, sebagai penyedia suplai arus dan tegangan listrik pada sistem
13. Bak penampung, sebagai tempat mengumpulkan kotoran ternak
14. Tombol *power*, berfungsi sebagai tombol untuk menghidupkan dan mematikan alat

4. Simpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa evaluasi REBA pada pekerja pembersihan kandang ayam berada pada level risiko sedang, dengan skor rata-rata 7. Risiko cedera muskuloskeletal yang signifikan disebabkan oleh postur kerja yang tidak ergonomis dan beban fisik yang berat. Salah satu penyebab utamanya adalah posisi tubuh yang tidak optimal dan pengerjaan aktivitas secara manual yang meningkatkan beban fisik. Berdasarkan hal tersebut, penggunaan alat pembersih kotoran otomatis pada kandang ayam merupakan upaya untuk mengurangi kelelahan dan risiko muskuloskeletal pada pekerja. Alat yang diusulkan dirancang dengan inovasi otomatisasi dan memperhatikan kebutuhan pengguna, seperti kenyamanan, keamanan, serta pengurangan beban kerja dan risiko muskuloskeletal. Desain alat disesuaikan dengan data antropometri termasuk tinggi badan (TBT), tinggi mata berdiri (TMB), tinggi bahu berdiri (TGT), jangkauan tangan (JT), dan tinggi jangkauan lengan (TJL). Rekomendasi penggunaan alat pembersih kotoran otomatis menunjukkan potensi besar dalam meningkatkan kesejahteraan hewan dan kualitas lingkungan. Alat ini dapat mengurangi risiko cedera pada operator, meningkatkan efisiensi operasional, dan kondisi sanitasi kandang. Dengan mengurangi intervensi manusia dalam pembersihan, alat ini meningkatkan kesehatan dan produktivitas peternakan dalam jangka panjang.

Daftar Pustaka

- Devi, N., Muliarta, I. M. & Adiputra, L. M. (2018) "Gambaran Keluhan Muskuloskeletal dan Kelelahan Mata Setelah Pemakaian Komputer pada Siswa Kelas XII SMK TI Bali Global Denpasar Tahun 2017". *E-Jurnal Medika*, 7(10).
- Fakihuddin, Suhariyanto, T. T., & Faishal, M. (2020). *Analisis Dampak Lingkungan Dan Persepsi Masyarakat Terhadap Industri Peternakan Ayam (Studi Kasus Pada Peternakan Di Jawa Tengah)*.
- Hendriani, B. (2021) "Faktor-Faktor yang Berhubungan Dengan Keluhan Muskuloskeletal Disorders (MSDs) pada Pekerja Peternakan Ayam Ras Petelur di Kecamatan Mungka Kabupaten Lima Puluh Kota". Program Studi Ilmu Kesehatan Masyarakat, Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan Universitas Jambi.
- Jordan, A. R., Sri Wardani, P., Subagiada, K., Rayzy Perwitasari Sutaji Putri, D., & Inu Natalisanto, A. (2023). Penilaian Tingkat Risiko Postur Kerja Menggunakan Metode REBA dan Biomekanika Pada Aktivitas Mengangkat Beban. In *Progressive Physics Journal* (Vol. 4). <http://jurnal.fmipa.unmul.ac.id/index.php/ppj/indexHalaman|231>
- Mahmood, S., Aziz, S. Abd. H. S. A., Zulkifli, M. Z., & Marsi, N. (2020). Rula and Reba Analysis on Work Postures: A Case Study at Poultry Feed Manufacturing Industry. *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*, 17(2–3), 755–764. <https://doi.org/10.1166/jctn.2020.8716>

- Mamun, M. A. A., and M. Hasanuzzaman. 2020. “No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における健康関連指標に関する共分散構造分析Title.” *Energy for Sustainable Development: Demand, Supply, Conversion and Management* 1–14.
- Muhtadin, D. H., Darwanto, A., & Sulo, B. D. (2020a). Sistem Pembersih Kandang Ayam Otomatis Berbasis Iot. In *Konvergensi* (Vol. 16, Issue 2).
- Olivianti, A., Abidjulu, J., & Koleangan, H. S. J. (2016). Dampak Limbah Peternakan Ayam Terhadap Kualitas Air Sungai Sawangan Di Desa Sawangan Kecamatan Tombulu Kabupaten Minahasa. In *Chem. Prog* (Vol. 9, Issue 2).
- Pratiwi, P. A., Widyaningrum, D., & Jufriyanto, M. (2021). Analisis Postur Kerja Menggunakan Metode REBA Untuk Mengurangi Risiko *Musculoskeletal Disorder* (MSDs). 9(2).
- Putri, N. T., Zadry, H. R., Mahata, M. E., Amrina, E., Yuliandra, B., & Humaida, N. (2020). Ergonomics Evaluation of Manual Material Handling Activities in the Section of Feeding Laying Hens at Poultry Farm. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1003(1), 012074. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1003/1/012074>
- Ramadhani, D., & Hahury, S. (2023). Pengembangan Alat Penyaring Tahu Yang Ergonomis Menggunakan Metode EFD. *Industrial Engineering Journal–System*, 1(02), 16–29.
- Rojun, M., & Nadziroh, N. (2020). Peran Sektor Pertanian Dalam Pertumbuhan Ekonomi Di Kabupaten Magetan The Role Of The Agricultural Sector In Economic Growth In Magetan Distric. In *Jurnal Agristan* (Vol. 2, Issue 1).
- Safira, E., Nofirza, N., Anwardi, A., Harpito, H., Rizki, M., & Nazaruddin, N. (2022). Evaluation of Human Factors in Redesigning Library Bookshelves for The Blind Using The Ergonomic Function Deployment (EFD) Method. *Proc. 3rd South Am. Int. Ind. Eng. Oper. Manag. Conf.*, pp. 2050–2062.
- Saputra, K., Tirtayasa, K., & Sucipta, N. (2017). Modifikasi Kampil Pakan Ternak Berbasis Ergonomi Memperbaiki Beban Kerja Dan Meningkatkan Roduktivitas Kerja Pekerja Peternakan Ayam Broiler. 3, 11–18.
- Suroso, H. C., & Yulvito. (2020). *Analisa Pengukuran Waktu Kerja Guna Menentukan Jumlah Karyawan Packer Di Pt. Sinarmas Tbk*. <https://doi.org/10.31284/J.Iptek.2020.V24i1>
- Tiogana, V., & Hartono, N. (2020). *Analisis Postur Kerja Dengan Menggunakan Reba Dan Rula Di Pt X Worker Posture Analysis Using Reba And Rula At Pt X*.
- Tulika Srivastava, T. S., & Aditi Vats, A. V. (2013). Musculoskeletal disorders among the workers engaged in organized poultry farm.11(3), 440–445 <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20143078160>
- Vos, T., Allen, C., Arora, M., Barber, R. M., Bhutta, Z. A., Brown, A., Carter, A., Casey, D. C., Charlson, F. J., Chen, A. Z., Coggeshall, M., Cornaby, L., Dandona, L., Dicker, D. J., Dilegge, T., Erskine, H. E., Ferrari, A. J., Fitzmaurice, C., Fleming, T., ... Murray, C. J. L. (2016). Global, regional, and national incidence, prevalence, and years lived with disability for 310 diseases and injuries, 1990–2015: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015. *The Lancet*, 388(10053), 1545–1602. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(16\)31678-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)31678-6)
- Wijaya, A. M., Siboro, B. A. H., & Purbasari, A. (2016). Analisa Perbandingan Antropometri Bentuk Tubuh Mahasiswa Pekerja Galangan Kapal Dan Mahasiswa Pekerja Elektronika *The Comparative Analysis Of Anthropometry Between Student Of Shape Vessel Shipyard Workers And Students Of Workers Electronic*. *Profisiensi*, 4(2), 108–117.

Studi Penilaian Risiko Lingkungan untuk *Decommissioning* Fasilitas Migas Lepas Pantai di Kawasan Selat Makassar

Arry Febrianto^{*1,2)}, Budi Suswanto¹⁾, dan Irwan Susilo³⁾

¹⁾Program Studi Profesi Insinyur, Sekolah Interdisiplin Manajemen dan Teknologi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, 60111, Indonesia

²⁾Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil Perencanaan dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, 60111, Indonesia

³⁾INKINDO Jawa Timur, Jl. Rungkut Asri Utara No.VII / 7, Surabaya, 60132, Indonesia
Email: febrianto@its.ac.id, budi_suswanto@its.ac.id, irwan@geospasia.com

ABSTRAK

Setelah lapangan migas telah melewati masa produktifnya maka operasi lapangan harus dihentikan dan fasilitas produksi harus ditutup. Selanjutnya, *decommissioning* dan/atau *in situ abandonment* akan dilakukan. Penilaian risiko lingkungan perlu dilakukan untuk mengukur dan mengetahui potensi bahaya bagi lingkungan akibat kegiatan *decommissioning*. Metode yang digunakan yaitu dengan analisis Hazid (*Hazard Identification*) kemudian dilakukan kajian degradasi material dan laju korosi dari pipa serta penentuan kualitas mutu air dengan metode indeks pencemaran. Hasil analisis kemudian dibuat dalam matriks risiko dengan mempertimbangkan nilai kekerapan dan keparahan dari potensi risiko lingkungan. Hasil studi menunjukkan bahwa kegiatan *decommissioning* tidak berpotensi mengubah kualitas air laut eksisting yang berada dalam kategori baik atau memenuhi baku mutu sehingga hasil analisis risiko lingkungan dari kegiatan *decommissioning* pada lapangan migas termasuk ke dalam kategori risiko rendah.

Kata kunci: Analisis Risiko, *Decommissioning*, Dampak Lingkungan, Indeks Pencemaran, Migas

1. Pendahuluan

Setelah beroperasi lebih dari 20 tahun, fasilitas migas lepas pantai di kawasan Selat Makassar telah melewati masa produktifnya. Pada kondisi seperti itu, operasi lapangan harus dinonaktifkan dan fasilitas produksi harus ditutup. Kegiatan penonaktifan/*decommissioning* merupakan kegiatan tahap akhir dari eksplorasi sumur migas yang sudah tidak produktif atau tidak layak operasi. Kegiatan *decommissioning* dapat dilakukan dengan mengambil peralatan material eksplorasi dari lepas pantai ke daratan untuk didaur ulang dan/atau dapat ditinggalkan di tempat eksplorasi lepas pantai atau yang disebut *in-situ abandonment*. Menurut Shams et al. (2023) terdapat tiga opsi dalam melakukan proses *decommissioning* yaitu pertama dengan meninggalkan alat produksi di tempat (*in-situ*) yang terlebih dahulu perlu dilakukan proses pembersihan dan penyisihan hidrokarbon dalam material. Opsi kedua yaitu penyisihan parsial di mana terdapat sebagian struktur yang ditinggalkan di tempat dan opsi ketiga yaitu penyisihan secara menyeluruh di mana seluruh struktur akan dipindahkan dari tempat lapangan migas lepas pantai ke daratan. Penelitian oleh Melbourne-Thomas et al (2021) terkait analisis risiko dari penerapan opsi-opsi kegiatan *decommissioning* di Australia dan beberapa negara lainnya, diketahui bahwa pemilihan opsi pada umumnya mempertimbangkan aspek ekonomi kemudian dampak lingkungan, sehingga yang sering ditemukan adalah penerapan opsi *in-situ abandonment*. Pemilihan dari opsi-opsi *decommissioning* tersebut akan berpengaruh terhadap beberapa faktor yaitu adanya perubahan habitat asli biota sehingga dapat membantu migrasi spesies invasif, potensi sebaran kontaminan sisa kegiatan produksi, serta potensi dampak sosial-ekonomi dari penerapan regulasi pada pemilihan opsi *decommissioning* tertentu.

Pada praktik *decommissioning* perlu dipertimbangkan beberapa aspek yang menjadi dampak dari kegiatan tersebut diantaranya adalah keanekaragaman hayati, produksi biomassa, konservasi, konektivitas, konsumsi energi dan jejak karbon, gangguan fisik secara langsung, serta penyebaran polutan atau kontaminan (Sommer et al., 2019). Diperlukan analisis yang mengkaji struktur dan material produksi serta studi terkait potensi laju degradasi dan paparan

yang mungkin terjadi pada lingkungan dan ekosistem hasil kegiatan *decommissioning*. Menurut Chen et al. (2024) terdapat beberapa sumber penyebaran polutan yang terjadi pada proses *decommissioning* di fasilitas migas Laut China Selatan, di antaranya adalah kebocoran sisa tumpahan minyak dan limbah pada proses pembongkaran fasilitas, korosi pada pipa, penggunaan bahan kimia saat pembersihan pipa/*flushing*, serta kabel yang ditinggalkan di dasar laut. Dampak lingkungan merupakan dampak terbesar yang timbul dari kegiatan *decommissioning*. Faktor-faktor yang mempengaruhi hal tersebut di antaranya adalah rusaknya keseimbangan ekosistem, perubahan karakteristik air laut, cemaran limbah dan emisi polutan (Vidal et al, 2022). Oleh karena itu diperlukan studi penilaian risiko lingkungan dari kegiatan *decommissioning* fasilitas migas lepas Pantai di kawasan Selat Makassar untuk dapat meminimalkan potensi dampak lingkungan dari kegiatan tersebut.

Konvensi OSPAR (Oslo-Paris) yaitu konvensi untuk perlindungan lingkungan Laut Atlantik Timur Laut mengeluarkan regulasi terkait pendekatan pengelolaan risiko yang perlu dilakukan dalam kegiatan emisi limbah ke dalam perairan. Terdapat di antaranya 6 langkah utama yang perlu dilakukan dalam pendekatan analisis risiko yaitu identifikasi masalah, karakterisasi bahaya, karakterisasi paparan, karakterisasi risiko, dokumentasi penilaian dan menerapkan tindakan pencegahan serta pemantauan secara berkala (Beyer et al., 2020). Pendekatan dengan metode tersebut akan membantu dalam hal mitigasi dari potensi limbah dan zat-zat berbahaya yang masuk ke lingkungan. Penilaian risiko lingkungan akan mengidentifikasi potensi bahaya lingkungan yang disebabkan oleh suatu aktivitas kemudian menentukan kemungkinan atau probabilitasnya dalam menimbulkan dampak negatif pada berbagai aspek lingkungan. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis metode yang dapat digunakan dalam analisis risiko lingkungan pada proyek *decommissioning* fasilitas migas lepas pantai sehingga dapat ditentukan besaran risiko lingkungan yang akan timbul akibat dari kegiatan *decommissioning* pada fasilitas migas lepas pantai di Selat Makassar.

2. Metode

Penilaian risiko lingkungan didasarkan pada potensi cemaran dari aspek-aspek fasilitas yang ada di lapangan migas. Pada tahap awal, dilakukan analisis identifikasi bahaya/*hazard identification* (HAZID) dari komponen fasilitas produksi migas ketika skenario *decommissioning* akan diterapkan. Pada penelitian ini ditentukan bahwa opsi yang akan dilakukan pada kegiatan *decommissioning* adalah *in-situ abandonment*. Dari tahap analisis HAZID kemudian didapatkan potensi bahaya pada setiap titik bagian fasilitas berikut tindak lanjut yang diperlukan dalam meminimalkan potensi-potensi bahaya tersebut. Kajian literatur digunakan sebagai tindak lanjut hasil analisis HAZID yang berupa kajian daur hidup material penyusun fasilitas produksi serta estimasi laju peluruhannya di air laut ketika dilakukan *in-situ abandonment*. Data dari hasil kajian tersebut, kemudian digunakan dalam penentuan status mutu air laut dengan metode indeks pencemaran. Dari hasil perhitungan metode indeks pencemaran, kemudian ditentukan besaran risiko lingkungan menggunakan matriks risiko dengan mempertimbangkan hasil dari tahapan-tahapan kajian yang telah dilakukan.

2.1 Analisis HAZID

Analisis identifikasi bahaya dilakukan untuk menilai dampak yang dapat ditimbulkan dari kegiatan proyek serta diilustrasikan dengan matriks risiko. Model dari matriks risiko didasarkan pada penilaian kemungkinan frekuensi terjadi/*likelihood* serta estimasi tingkat keparahan/*severity* yang ditimbulkan dari kejadian tersebut. Penilaian terkait analisis risiko lingkungan dilakukan terhadap setiap unit-unit produksi yang ada dalam fasilitas yang terhimpun dalam satu lingkup proses yang disebut *node*. Interpretasi dari matriks risiko

didasarkan pada manajemen risiko berbasis ISO 31000 dengan membagi kategori risiko berdasarkan tingkatnya (Vorst et al, 2018), seperti yang terlihat pada **Gambar 1**.

		Likelihood				
		1	2	3	4	5
Severity	6	6	12	18	24	30
	5	5	10	15	20	25
	4	4	8	12	16	20
	3	3	6	9	12	15
	2	2	4	6	8	10
	1	1	2	3	4	5

Gambar 1. Contoh Matriks Risiko 6x5

Pada hasil matriks analisis risiko terdapat pembagian tiga kategori risiko yaitu:

- Warna merah (15-30) dikategorikan sebagai Risiko Tinggi (*High Risk*). Risiko tidak dapat diterima (*unacceptable*), pekerjaan tidak dapat dilakukan. Tindakan pengendalian perlu segera dilakukan untuk menurunkan tingkat risiko, Keterlibatan pemimpin diperlukan untuk pengendalian tersebut.
- Warna kuning (5-12) dikategorikan Risiko Sedang (*Medium Risk*). Risiko tidak dapat diterima (*unacceptable*), harus dilakukan pengendalian tambahan untuk menurunkan tingkat risiko. Pengendalian tambahan harus diterapkan dalam periode waktu tertentu.
- Warna hijau (1-4) dikategorikan Risiko Rendah (*Low Risk*). Risiko dapat diterima (*acceptable*), tidak diperlukan pengendalian tambahan tetapi diperlukan pemantauan untuk memastikan pengendalian yang ada dilaksanakan dan dikelola.

2.2 Analisis Status Mutu Air

Terdapat rujukan metode yang disyaratkan dalam penentuan status mutu air berdasarkan KepmenLH no 115 tahun 2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air yang salah satunya adalah metode indeks pencemaran. Pengelolaan kualitas air atas dasar Indeks Pencemaran (IP) ini dapat memberi masukan pada pengambil keputusan agar dapat menilai kualitas badan air untuk suatu peruntukan serta melakukan tindakan untuk memperbaiki kualitas jika terjadi penurunan kualitas akibat kehadiran senyawa pencemar. Metode perhitungan indeks pencemaran menggunakan Persamaan 1.

$$IP_j = \frac{\sqrt{((C_i/L_{ij})^2 M + ((C_i/L_{ij})^2 R)}}{2} \quad (1)$$

Keterangan:

L_{ij} = konsentrasi masing-masing standar kualitas air sesuai baku mutu (j)

C_i = konsentrasi masing-masing parameter kualitas air hasil perhitungan

IP_j = Indeks Pencemaran (j)

(C_i/L_{ij})_M = Nilai Maksimum (C_i/L_{ij})

(C_i/L_{ij})_R = Nilai rata-rata (C_i/L_{ij})

Metode ini dapat langsung menghubungkan tingkat ketercemaran dengan dapat atau tidaknya sungai dipakai untuk penggunaan tertentu dan dengan nilai parameter-parameter tertentu. Evaluasi terhadap nilai IP adalah :

0 ≤ IP_j ≤ 1,0 = memenuhi baku mutu (kondisi baik)

1,0 < IP_j ≤ 5,0 = cemaran ringan

5,0 < IP_j ≤ 10 = cemaran sedang

PIj > 10 = cemar berat

2.3 Analisis Risiko Lingkungan

Pada analisis risiko lingkungan dari kegiatan *decommissioning*, komponen kajian utama dampak lingkungan terhadap kegiatan adalah potensi polutan yang akan terlepas ke lingkungan khususnya air laut. Penentuan variabel polutan dilakukan dengan studi literatur dari dokumen lingkungan terkait *oil properties* yang berasal dari dokumen pemantauan RKL/RPL yang telah dilakukan oleh perusahaan. Selain itu penentuan variabel polutan pada air laut juga mempertimbangkan PP no. 22 tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup pada Lampiran VIII terkait Baku Mutu Air Laut kategori Biota Laut. Perhitungan parameter kualitas air laut dilakukan dengan kajian transportasi polutan hasil dari kegiatan *decommissioning* dengan mempertimbangkan laju degradasi dari korosi pipa serta kemungkinan tumpahan minyak yang terdispersi ke laut. Data potensi cemar hasil kajian tersebut kemudian dielaborasi dengan parameter-parameter pencemar lain untuk dilakukan penentuan indeks pencemaran. Penentuan kualitas mutu air hasil dari perhitungan indeks pencemaran kemudian menjadi basis rekomendasi dalam formulasi matriks risiko sehingga didapatkan kesimpulan akhir terkait potensi besaran risiko lingkungan, dampak dari kegiatan *decommissioning*.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Analisis HAZID

Hasil analisis sumber bahaya atau *hazard identification* dilakukan pada setiap titik aset produksi fasilitas migas dengan metode HIRA (*Hazard Identification and Risk Analysis*). Metode HIRA merupakan metode analisis risiko untuk mengenali potensi bahaya dan menilai risiko di dalam suatu fasilitas dengan tujuan untuk memastikan bahwa risiko terhadap karyawan, masyarakat, atau lingkungan terkendali secara konsisten sesuai dengan toleransi risiko yang ditetapkan oleh organisasi. Pada tahap awal aplikasi metode HIRA dilakukan dengan menentukan tingkat *severity* atau keparahan serta *likelihood* atau kekerapan dari kegiatan *decommissioning*. Setelah dilakukan penentuan basis *likelihood* dan *severity* berdasarkan peraturan dan *best practice* yang ada di industri minyak dan gas, analisis kemudian dilanjutkan dengan penentuan risiko lingkungan berdasarkan titik proyek yang akan dilakukan *abandonment*. Titik proyek terdiri dari fasilitas produksi yang berlokasi di lepas pantai serta fasilitas di daratan yang terhubung dengan serangkaian fasilitas produksi. Aset fasilitas yang akan dilakukan *abandonment* merupakan fasilitas lepas Pantai yang dibagi menjadi dalam 9 titik / *node* seperti yang dijabarkan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Titik Aset Fasilitas yang akan Ditinggalkan

Node	Detail Fasilitas
1	12 kabel tambat/ <i>mooring wires</i> (<i>carbon steel</i> dan <i>outersheath</i>).
2	12" Riser Catenary jalur ekspor minyak dan gas (<i>material carbon steel</i>).
3	12" Jumper Produksi
4	6" Jumper Produksi
5	Flowline Production Bangka
6	Umbilical Produksi Bangka
7	8 Tendon 26" x 1000 m (<i>carbon steel</i>)
8	12" Pipa Bawah Laut Jalur Ekspor Minyak dan Gas (<i>offshore</i>)
9	12" Pipa Bawah Laut Jalur Ekspor Minyak dan Gas (<i>onshore</i>)

Identifikasi risiko lingkungan dengan metode HIRA dilakukan dengan *workshop*/lokakarya bersama praktisi yang berpengalaman dan memiliki sertifikasi di bidang keselamatan, kesehatan kerja dan lingkungan di industri migas. Lokakarya dilakukan antara tim ahli, praktisi beserta

dengan pengelola lapangan migas. Berdasarkan analisis HAZID di 9 *node* lokasi, diketahui bahwa terdapat beberapa titik yang perlu mendapatkan perhatian terkait potensi cemaran lingkungan yang akan dihasilkan dari kegiatan *decommissioning*. Dari hasil penilaian tersebut, didapatkan rekomendasi terhadap kajian-kajian tindak lanjut yang perlu dikaji, seperti laju degradasi material yang dapat berpotensi mengalami korosi serta kajian potensi sebaran polutan. Potensi cemaran lingkungan berdasarkan analisis HAZID dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Potensi Cemaran Lingkungan pada Fasilitas Migas

Node	Sumber Cemaran	Potensi Cemaran	Tindak lanjut
1	Kabel Tambat	<ul style="list-style-type: none"> • Korosi • Degradasi material <i>outersheath</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Sudah terdapat <i>safeguards</i> • Studi literatur, jika menunjukkan adanya potensi bahaya dari degradasi material maka dilakukan pemodelan
2	<i>Riser Catenary</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Korosi • Kebocoran pipa 	<ul style="list-style-type: none"> • Sudah terdapat <i>safeguards</i> • Pemodelan
3	Jumper Produksi	<ul style="list-style-type: none"> • Korosi • Kebocoran pipa • Degradasi material <i>outersheath</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Sudah terdapat <i>safeguards</i> • Pemodelan • Studi literatur, jika menunjukkan adanya potensi bahaya dari degradasi material maka dilakukan pemodelan
4	Jumper Produksi	<ul style="list-style-type: none"> • Korosi • Kebocoran pipa • Degradasi material <i>outersheath</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Pemodelan • Sudah terdapat <i>safeguards</i> • Studi literatur, jika menunjukkan adanya potensi bahaya dari degradasi material maka dilakukan pemodelan
5	Flowline produksi	<ul style="list-style-type: none"> • Korosi • Degradasi material <i>outersheath</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Sudah terdapat <i>safeguards</i> • Studi literatur, jika menunjukkan adanya potensi bahaya dari degradasi material maka dilakukan pemodelan
6	Umbilical Produksi	<ul style="list-style-type: none"> • Kebocoran pada tubing fitting • Degradasi material <i>outersheath</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Pemodelan • Studi literatur, jika menunjukkan adanya potensi bahaya dari degradasi material maka dilakukan pemodelan
7	Tendon	<ul style="list-style-type: none"> • Korosi pada bagian dalam • Korosi pada bagian luar 	<ul style="list-style-type: none"> • Pemodelan • Sudah terdapat <i>safeguards</i>
8	Pipa bawah laut (<i>offshore</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • Korosi • Kebocoran pipa 	<ul style="list-style-type: none"> • Sudah terdapat <i>safeguards</i> • Pemodelan
9	Pipa bawah laut (<i>onshore</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • Kebocoran pipa 	<ul style="list-style-type: none"> • Sudah terdapat <i>safeguards</i>

Selain dengan menggunakan pemodelan, mitigasi potensi cemaran dilakukan dengan tindakan *safeguards*. Tindakan *safeguards* yang dimaksud yaitu dengan pembilasan pada pipa yang akan dilakukan *abandonement*, kemudian hasil pembilasan akan dikirimkan ke instalasi pengolahan air limbah yang ada di daratan. Pipa akan dibilas dengan beberapa senyawa kimia kemudian pada tahap akhir akan dibilas dengan menggunakan air laut. Pipa hasil pembilasan kemudian akan disumbat, sehingga potensi sisa cemaran setelah pembilasan akan tetap tertinggal dalam pipa. Selain dengan metode pembilasan, pipa yang akan ditinggalkan juga telah dilapisi dengan *coating* atau pelindung anti korosi sehingga dapat meminimasi dampak sebaran cemaran logam Fe ketika ditinggalkan pada dasar laut. Pelapisan luar dengan anoda tersebut dapat bertahan hingga 30 tahun. Oleh karena itu setelah proses *decommissioning* dilakukan, anoda diperkirakan akan bertahan selama 7-8 tahun. Setelah 7-8 tahun dari *decommissioning*, pipa akan mulai mengalami korosi akibat air laut. Menurut Su dan X. Gao (2017), laju korosi besi di air laut adalah 1,99 mm per tahun. Berdasarkan hasil kajian transport polutan, diperkirakan konsentrasi ion Fe di air laut selama 20 tahun adalah 0,0000094 mg/L sehingga dapat disimpulkan potensi pencemaran akibat korosi pipa dianggap sangat kecil.

3.2 Kajian Degradasi Material

Proses *decommissioning* dan *abandonement* pada aset fasilitas produksi dilakukan di lepas pantai untuk kemudian ditinggalkan di dasar laut sehingga dibutuhkan kajian terkait degradasi material akibat paparan dan tekanan dari air laut pada setiap aset produksi yang akan ditinggalkan. Identifikasi material pada aset produksi yang akan ditinggalkan di dasar laut diketahui memiliki lapisan pelindung/*outersheath*. Penentuan jenis komponen penyusun lapisan pelindung aset produksi telah diketahui dari dokumen perusahaan kemudian diverifikasi oleh praktisi pada saat lokakarya HAZID. Rincian material pelindung/*outersheath* pada setiap titik fasilitas dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Material *Outersheath* pada Titik Aset Fasilitas

Node	Material	Bahan <i>Outersheet</i> / Lapisan Luar*	Daur hidup di perairan laut (tahun)**
1	<i>Mooring wires</i>	PET	450
3	<i>IP dan LP production jumper</i>	PA 11	600
4	<i>Gas lift jumper</i>	PA 11	600
5	<i>Flowline</i>	PETP	450
6	<i>Umbilical</i>	PE	450

*Sumber: Dokumen perusahaan

**Sumber: Yuan et al (2022)

Kabel tambat/*mooring wires* terbuat dari campuran bahan antara kawat logam dan serat sintetis yang dirangkai dari serat baja yang dipadukan dengan poliester untuk menghasilkan tali tambat yang ringan di atas platform lepas pantai (Amran dan Koto, 2016). Serat poliester ini memiliki ketahanan yang tinggi terhadap abrasi dari air laut karena mengandung asam tereftalat, atau bahan yang biasa menjadi prekursor untuk PET. PET termasuk dalam kategori material yang tidak terdegradasi oleh mikroba di lingkungan laut, dan digolongkan sebagai senyawa *moderately degradable* yaitu senyawa yang memiliki daur hidup antara 100-1000 tahun dengan potensi daur hidup di alam yang mencapai 450 tahun pada kondisi tertentu (Yuan et al., 2022).

Kajian material *jumper* di *node* 3 dan 4 memiliki *outersheat* yang berupa material PA 11. PA 11 merupakan material plastik yang berupa Polyamida yang biasa digunakan sebagai pelindung pada lapisan pipa. Penggunaan *coating* Polyamida merupakan pengembangan dari *coating* yang dilakukan dengan Polyetilen yang telah banyak diterapkan sebelumnya dengan karakteristik tetap elastis seperti Polyetilen namun memiliki kekuatan perlindungan mekanis

yang lebih besar (Hartmann et al., 2011). Berdasarkan publikasi dari Yuan et al. (2022) PA 11 termasuk ke dalam material yang bersifat *nonbiodegradable* atau tidak dapat terdegradasi oleh mikroba di lingkungan perairan laut dengan daur hidup mencapai 600 tahun.

Hasil kajian pada node 5 didapatkan bahwa komponen material pelindung *flowline* merupakan PETP yang berfungsi sebagai material pelindung anti korosi. PETP merupakan istilah yang dahulu dipakai untuk polyethylene terephthalate atau yang sekarang lebih dikenal sebagai PET (Wegener et al, 2005). Polietilena tereftalat digunakan sebagai perlindungan anti korosif yang baik pada pipa baja melalui proses industry dengan karakteristik homogen, bebas dari defek dan retakan pada serangkaian *salt spray test* (Silva et al., 2019). Berdasarkan penelitian dari Yuan et al. (2022), PET termasuk ke dalam material yang bersifat *nonbiodegradable* atau tidak dapat terdegradasi oleh mikroba di lingkungan perairan laut dengan daur hidup mencapai 450 tahun.

Kajian pada node 6 yang merupakan material *umbilical* yaitu material yang berfungsi sebagai media transfer tenaga hidraulik, kelistrikan, bahan kimia dan gas pada instalasi bawah laut yang memiliki lapisan terluar berbahan PE atau Polietilena yang berfungsi sebagai insulasi pada kabel di laut dalam. Insulasi pada kabel/*outersheath umbilical* didesain untuk kuat secara mekanis, stabil di bawah pengaruh air laut, tahan terhadap perubahan suhu serta proses penuaan dengan bahan dasar terbuat dari Polietilena yang terbagi menjadi LDPE (*low density polietilen*), MDPE (*medium density polietilen*) serta HDPE (*high density polietilen*) (Worzyk, 2009). Berdasarkan publikasi dari Yuan et al (2022), LDPE serta HDPE termasuk ke dalam material yang bersifat *nonbiodegradable* atau tidak dapat terdegradasi oleh mikroba di lingkungan perairan laut dengan daur hidup mencapai 450 tahun.

3.3 Penentuan Indeks Pencemaran

Penentuan dampak lingkungan dari kegiatan *decommissioning* dilakukan dengan membandingkan antara kondisi pra-*decommissioning* dengan pasca *decommissioning*. Pendekatan yang diambil adalah dengan membandingkan kondisi air laut pasca *decommissioning* dengan standar kualitas air laut yang diatur oleh Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 pada Lampiran VIII bagian biota laut. Analisis penetapan status kualitas air laut yang digunakan dalam studi ini dilakukan dengan menggunakan Metode Indeks Pencemaran (IP). Tinjauan potensi cemaran dilakukan berdasarkan basis lokasi fasilitas-fasilitas produksi, sehingga dilakukan pembagian zona untuk penggunaan nilai IP.

Perhitungan nilai Indeks Pencemaran (IP) dilakukan menggunakan data sekunder dokumen lingkungan terkait hasil analisis perusahaan mengenai kualitas air laut pada Kuartal IV tahun 2022 berikut dengan kajian persebaran pencemar pada parameter total petroleum hidrokarbon (TPH). Analisis kualitas air laut dilakukan secara berkala yang kemudian hasilnya dituangkan dalam dokumen RKL-RPL perusahaan. Data perhitungan nilai Indeks Pencemar dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Perhitungan Nilai Indeks Pencemar

No	Parameter	Satuan	Baku Mutu (Li)	Zona A (Ci)	Zona B (Ci)	Zona C (Ci)	(Ci/Li) zona A	(Ci/Li) zona B	(Ci/Li) zona C
1	BOD5	mg/L	20	5	5	4	0,25	0,25	0,2
2	Amonia Total (NH3-N)	mg/L	0,3	0,01	0,01	0,03	0,033	0,033	0,1
3	Ortofosfat (PO4-P)	mg/L	0,015	0,003	0,003	0,003	0,2	0,2	0,2
4	Nitrat	mg/L	0,06	0,02	0,02	0,02	0,333	0,33	0,33
5	Sianida (CN-)	mg/L	0,5	0,002	0,002	0,002	0,004	0,004	0,004
6	Sulfida (H2S)	mg/L	0,01	0,001	0,003	0,004	0,1	0,3	0,4
7	Hidrokarbon Petroleum Total (TPH)	mg/L	0,02	8,2E-09	8,2E-09	8,2E-09	4,1E-07	4,1E-07	4,1E-07

No	Parameter	Satuan	Baku Mutu (Li)	Zona A (Ci)	Zona B (Ci)	Zona C (Ci)	(Ci/Li) zona A	(Ci/Li) zona B	(Ci/Li) zona C
8	Senyawa Fenol Total	mg/L	0,002	0,0008	0,0008	0,0009	0,4	0,4	0,45
9	PAH (Poliaromatik Hidrokarbon)	mg/L	0,003	0,00004	0,00004	0,00004	0,0133	0,013	0,013
10	PCB (Poliklor bifenil)	µg/L	0,01	0,002	0,002	0,002	0,2	0,2	0,2
11	Surfaktan (deterjen) sebagai MBAS	mg/L	1	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008
12	Minyak dan Lemak	mg/L	1	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
13	TBT (tri Butil tin)	µg/L	0,01	0,005	0,005	0,005	0,5	0,5	0,5
14	Raksa (Hg)	mg/L	0,001	0,0005	0,0002	0,0002	0,5	0,2	0,2
15	Kromium heksavalen (Cr(VI))	mg/L	0,005	0,002	0,002	0,002	0,4	0,4	0,4
16	Arsen (As)	mg/L	0,012	0,00015	0,0017	0,0017	0,0125	0,14	0,14
17	Kadmium (Cd)	mg/L	0,001	0,0002	0,0002	0,0002	0,2	0,2	0,2
18	Tembaga (Cu)	mg/L	0,008	0,004	0,0003	0,0003	0,5	0,037	0,037
19	Timbal (Pb)	mg/L	0,008	0,0007	0,00003	0,00003	0,087	0,0037	0,0037
20	Seng (Zn)	mg/L	0,05	0,01	0,01	0,0003	0,2	0,2	0,006
21	Nikel (Ni)	mg/L	0,05	0,01	0,001	0,0002	0,2	0,02	0,004
	Catatan:					(Ci/Li) Rata-rata	0,21	0,18	0,18
	Zona A = 500 m Upstream Field				IP		0,38	0,19	0,19
	Zona B = 500 m Downstream Field								
	Zona C = 1250 m Downstream Field								

3.4 Analisis Risiko Lingkungan

Menurut kajian yang dilakukan Desrina et al. (2013) diketahui bahwa potensi kegiatan *decommissioning* di Indonesia mencapai puncaknya pada dekade ini dari ratusan sumur minyak lepas pantai yang ada di Indonesia. Sehingga diperlukan kajian pemilihan teknologi yang komprehensif berikut dampak lingkungan yang akan dihasilkan. Dari penelitian tersebut diketahui bahwa frekuensi kegiatan *decommissioning* di Indonesia berada pada level yang tinggi pada dekade ini, namun belum terdapat laporan studi (yang dapat diakses secara daring) yang menyatakan terkait risiko lingkungan yang timbul dari kegiatan *decommissioning* di Indonesia, sehingga besaran risiko lingkungan tidak dikategorikan termasuk dalam kejadian yang hampir tidak mungkin terjadi karena ditemukannya potensi cemaran di lapangan skala internasional seperti pada penelitian oleh Chen et al (2024). Oleh karena itu, tingkat kekerapan/*likelihood* risiko cemaran dari kegiatan *decommissioning* pada lapangan migas dikategorikan sangat rendah atau berada pada angka 2.

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, proses *decommissioning* pada lapangan migas memiliki tingkat *severity*/keparahan yang rendah atau hanya terjadi secara insidental. Oleh karena itu tingkat *severity* memiliki nilai *severity* 1. Hal ini ditandai dengan rendahnya resiko cemaran yang mungkin timbul berdasarkan studi literatur dan kajian transport polutan serta hasil perhitungan indeks pencemaran yang menyatakan bahwa kualitas air laut diprediksi berada pada kondisi yang baik atau sesuai dengan baku mutu yang disyaratkan. Oleh karena itu, matriks analisis risiko yang terbentuk dengan nilai *severity* 1 dan *likelihood* 2 dapat dilihat pada **Gambar 2**. Dari hasil matriks risiko diketahui bahwa risiko lingkungan dari kegiatan *decommissioning* pada fasilitas migas lepas pantai di kawasan Selat Makassar dikategorikan dalam risiko rendah (*Low Risk*), risiko dapat diterima (*acceptable*), tidak diperlukan

pengendalian tambahan tetapi diperlukan pemantauan untuk memastikan pengendalian yang ada dilaksanakan dan dikelola.

		Likelihood				
		1	2	3	4	5
Severity	6	6	12	18	24	30
	5	5	10	15	20	25
	4	4	8	12	16	20
	3	3	6	9	12	15
	2	2	4	6	8	10
	1	1	2	3	4	5

Gambar 2. Matriks Risiko Kegiatan *Decommissioning*

4. Simpulan

Faktor-faktor yang perlu ditinjau terkait analisis risiko lingkungan pada proyek *decommissioning* fasilitas minyak dan gas lepas pantai yaitu penentuan node atau titik fasilitas produksi, penerapan metode HAZID (*Hazard identification*), analisis mutu air laut dengan metode penentuan indeks pencemaran serta penyajian matriks risiko sehingga diketahui tingkat potensi risiko dari kegiatan *decommissioning* fasilitas minyak dan gas lepas pantai. Berdasarkan hasil kajian analisis risiko lingkungan yang telah dilakukan, diprediksi bahwa hasil kegiatan *decommissioning* tidak mengubah kualitas air laut yang saat ini berada dalam kategori baik atau memenuhi baku mutu sehingga hasil analisis risiko lingkungan dari kegiatan *decommissioning* pada lapangan migas lepas pantai di Kawasan Selat Makassar termasuk ke dalam kategori risiko rendah.

Daftar Pustaka

- Amran, N. A., & Koto J. (2016) A Review on Types of Mooring Material for Deep Water Offshore Structure. *Journ of Subsea and Off, Scie and Eng.* 7. 10-14
- Beyer, J., Goksøyr, A., Hjermand, D. Ø., & Klungsøyr, J. (2020). Environmental effects of offshore produced water discharges: A review focused on the Norwegian continental shelf. *Marine environmental research*, 162, 105155.
- Chen, D., Chen, L., Zhang, Y., Wang, X., Wang, J., & Wen, P. (2024). Decommissioning offshore oil and gas facilities in China: Process and environmental impacts. *Ocean Engineering*, 296, 116887.
- Desrina, R., Anwar, C., & Susantoro, T. M. (2013). Environmental Impacts Of The Oil And Gas Platform Decommissioning. *Scientific Contributions Oil and Gas*, 36(2), 97-103.
- Hartmann, M., Kocks, H. J., & Maier, S. (2011) Polyamide coatings for non-conventional pipe laying methods. *Trench Tech.* 2. 36-42. www.smlp.eu
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan/KLHK 2003. KepmenLH no 115 tahun 2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air
- Melbourne-Thomas, J., Hayes, K. R., Hobday, A. J., Little, L. R., Strzelecki, J., Thomson, D. P., ... & Hook, S. E. (2021). Decommissioning research needs for offshore oil and gas infrastructure in Australia. *Frontiers in Marine Science*, 8, 711151.
- Sekretariat Kabinet Republik Indonesia/Sekneg 2021. PP no 22 tahun 2021 tentang Perlindungan Penyelenggaraan Lingkungan Hidup
- Shams, S., Prasad, D. R., Imteaz, M. A., Khan, M. M. H., Ahsan, A., & Karim, M. R. (2023). An Assessment of Environmental Impact on Offshore Decommissioning of Oil and Gas Pipelines. *Environments*, 10(6), 104.

- Silva, E., Fedel, M., Deflorian, F., Cotting, F., & Lins, V. (2019). Properties of post-consumer polyethylene terephthalate coating mechanically deposited on mild steels. *Coatings*, 9(1), 28.
- Su, G., & Gao, X. (2017). Comparison of medium manganese steel and Q345 steel on corrosion behavior in a 3.5 wt% NaCl solution. *Materials*, 10(8), 938.
- Sommer, B., Fowler, A. M., Macreadie, P. I., Palandro, D. A., Aziz, A. C., & Booth, D. J. (2019). Decommissioning of offshore oil and gas structures—Environmental opportunities and challenges. *Science of the total environment*, 658, 973-981.
- Vidal, P. D. C. J., González, M. O. A., de Vasconcelos, R. M., de Melo, D. C., de Oliveira Ferreira, P., Sampaio, P. G. V., & da Silva, D. R. (2022). Decommissioning of offshore oil and gas platforms: A systematic literature review of factors involved in the process. *Ocean Engineering*, 255, 111428.
- Vorst, C. R., Priyarsono, D. S., & Budiman, A. (2018). Manajemen risiko berbasis SNI ISO 31000. *Jakarta Pusat: Badan Standardisasi Nasional*.
- Wegener, M., Wirges, W., Dietrich, J. P., & Gerhard-Multhaupt, R. (2005, September). Polyethylene terephthalate (PETP) foams as ferroelectrets. In *2005 12th International Symposium on Electrets* (pp. 28-30). IEEE.
- Worzyk, T. (2009). *Submarine power cables: design, installation, repair, environmental aspects*. Springer Science & Business Media.
- Yuan, Z., Nag, R., & Cummins, E. (2022). Ranking of potential hazards from microplastics polymers in the marine environment. *Journal of Hazardous Materials*, 429, 128399.

Analisis Kesiapan Implementasi ISO 9001:2015 Menggunakan Metode Gap Analysis pada Pabrik XYZ

Alia Prabandari^{*1)}, Nessa Vindy Auglian²⁾, Zinda Rud SIRR Amisesa³⁾, dan Fakhrina Fahma⁴⁾

Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir Sutami No.36,
Kec. Jebres, Surakarta, Indonesia 57126
Email: aliaprabandari@student.uns.ac.id

ABSTRAK

Pabrik XYZ merupakan perusahaan yang bergerak di bidang kuliner. Untuk memenuhi tuntutan pasar yang semakin ketat, perusahaan Pabrik XYZ perlu memastikan bahwa sistem manajemen mutu dan operasinya berjalan sesuai dengan standar dengan mendapatkan sertifikasi ISO 9001:2015. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kesiapan ISO 9001:2015 di Pabrik XYZ dan menganalisis besar kesenjangan persyaratan ISO 9001:2015. Penelitian ini memiliki empat tahap, yaitu identifikasi awal, pengumpulan data, pengolahan data, dan analisis data. Berdasarkan hasil penelitian dengan menggunakan *Gap Analysis* menunjukkan bahwa Pabrik XYZ sudah memenuhi dan mengimplementasi SMM sesuai standar persyaratan ISO 9001:2015. Klausul 8 memiliki nilai terendah, yaitu sebesar 77,87%, yang berarti Pabrik XYZ masih memerlukan perbaikan agar perusahaan lebih siap terhadap implementasi ISO 9001:2015.

Kata kunci: *Gap Analysis*, ISO 9001:2015, Sistem Manajemen Mutu

1. Pendahuluan

Dalam industri pangan yang kompetitif, kepuasan pelanggan menjadi kunci utama. Untuk mencapai hal ini, fokus pada kualitas produk dan pelayanan yang unggul sangatlah penting (Silalahi, dkk. 2023). Banyak perusahaan menerapkan Sistem Manajemen Mutu (SMM) sebagai landasan untuk mengelola kualitas produk mereka. SMM adalah serangkaian proses yang saling berhubungan dan dilakukan oleh organisasi untuk mencapai sasaran mutu (Ikhtiar, dkk. 2023). SMM kemudian dikembangkan dalam sertifikasi standar ISO 9001:2015.

ISO 9001 merupakan standar sistem manajemen mutu yang dikeluarkan oleh *International Organization for Standardization*, berisi persyaratan yang harus dipenuhi oleh manajemen suatu organisasi yang bertujuan untuk menjaga konsistensi kualitas produk dan layanan. Sedangkan ISO 9001:2015 merupakan sistem manajemen mutu dengan versi terbaru yang dikeluarkan pada tahun 2015 dengan mengedepankan pendekatan analisis risiko dengan tujuan agar organisasi dapat memprediksi kemungkinan risiko dari setiap rencana organisasi, dan mempersiapkan mitigasinya, sehingga kemungkinan risiko dapat dihindari maupun dikurangi (Prihatmadji, dkk. 2022).

Sebuah perusahaan roti yaitu Pabrik XYZ merupakan salah satu perusahaan yang bergerak di bidang industri makanan atau pangan. Dengan sejarah yang panjang dan reputasi yang baik, perusahaan Pabrik XYZ memiliki tanggung jawab yang besar untuk menjaga standar kualitas produknya. Untuk mempertahankan reputasi dan memenuhi tuntutan pasar yang semakin ketat, perusahaan Pabrik XYZ perlu memastikan bahwa sistem manajemen mutu dan operasinya berjalan sesuai dengan standar. Meskipun Pabrik XYZ memiliki reputasi yang kuat, namun perusahaan memiliki masalah utama yang harus dihadapi, yaitu kurangnya dokumentasi yang memadai seperti, belum adanya dokumentasi pengendalian operasional, dokumentasi kegiatan desain dan pengembangan produk serta jasa, dan dokumentasi persediaan.

Kurangnya dokumentasi ini tidak hanya menghambat proses sertifikasi, tetapi juga mempersulit pelaksanaan pelatihan pegawai baru, karena informasi yang disampaikan hanya berdasarkan pengalaman langsung dan bukan berdasarkan prosedur tertulis yang terdokumentasi. Selain itu, Pabrik XYZ juga belum menyediakan layanan pengaduan informasi ketidaksesuaian

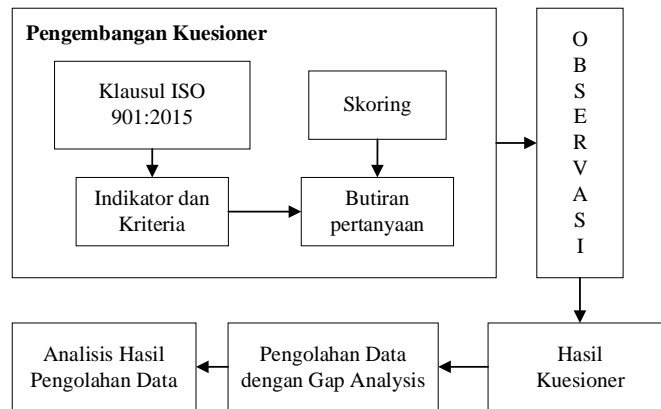
produk atau jasa untuk pelanggan. Untuk mengatasi hal tersebut maka cara yang harus dilakukan perusahaan adalah dengan mengimplementasikan ISO 9001:2015. Implementasi standar ISO 9001:2015 melibatkan proses evaluasi menyeluruh terhadap semua aspek operasional, oleh karena itu pentingnya dilakukan analisis mengenai kesiapan perusahaan terhadap sertifikasi ISO 9001:2015.

Berdasarkan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Chatzoglou pada tahun 2015 yang menyatakan bahwa dengan adanya sertifikasi ISO dapat meningkatkan atau memperbaiki kinerja suatu perusahaan dari segi finansial secara umum (Fauzi, 2019). Kemudian, Luís Fonseca dan José Pedro Domingues pernah melakukan survei terhadap 393 auditor yang terdaftar di IRCA dari 71 negara, disimpulkan bahwa ISO 9001:2015 memberikan nilai tambah bagi organisasi di berbagai sektor industri dan jasa. Selain itu, standar ini juga dianggap sebagai alat yang bermanfaat untuk berbagai jenis organisasi (Prihatmadji, dkk. 2022). Selain itu pada penelitian Musyawir dalam sebuah proyek konstruksi, hasil analisis menunjukkan bahwa penerapan sistem manajemen mutu ISO 9001:2015 memiliki pengaruh positif terhadap biaya, mutu, dan waktu (Jannah, 2023).

Berdasarkan penelitian Murnan, dkk (2022), didapatkan hasil penelitian gap analisis yang dilakukan di perusahaan daerah air minum (PDAM) di mana perusahaan belum menggunakan SMM yang mengacu pada standar ISO 9001:2015. Berdasarkan penelitian terdahulu yang telah ditemukan, belum ditemukan penelitian dalam industri pangan terutama industri roti. Oleh karena itu, dengan adanya penelitian yang dilakukan pabrik XYZ bertujuan untuk mengetahui seberapa jauh kesiapan perusahaan di industri pangan terhadap ISO 9001:2015.

Dalam menganalisis kesiapan perusahaan terhadap ISO 9001:2015 pada sistem manajemen mutu di Pabrik XYZ, dilakukan penelitian dengan menerapkan metode *gap analysis*. *Gap analysis* merupakan aktivitas yang membandingkan dua macam data untuk mengidentifikasi perbedaannya (Aji, 2022). *Gap analysis* dipilih karena penggunaannya yang mudah untuk UMKM dalam menilai kesiapan sertifikasi ISO 9001:2015. Selain itu, dalam penelitiannya pada perusahaan manufaktur, Fernando menyatakan bahwa analisis gap yang dilakukan dapat mengetahui kesiapan perusahaan dalam memperoleh sertifikasi ISO 9001:2015 (Apriani & Renosori, 2022). Menurut Kharismanto dan Pratiwi (2023), penilaian gap dilihat berdasarkan pembagian *range* yang bertujuan mengukur kesiapan nilai persentase yang dihasilkan, di mana nilai tersebut dapat menunjukkan kesiapan perusahaan dalam pengimplementasian ISO. *Gap analysis* biasanya digunakan untuk membandingkan berdasarkan set persyaratan secara terstruktur yang dilakukan pada satu set area, topik atau kategori, sehingga membuat *gap analysis* efisien untuk mengetahui sektor atau bidang yang memerlukan perbaikan diperbaiki (Rofiq, 2021). Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menganalisis kesiapan ISO 9001:2015 di Pabrik XYZ dan menganalisis besar kesenjangan persyaratan ISO 9001:2015 dengan menggunakan kuesioner sebagai alat penilaian yang kemudian dilakukan perhitungan analisis *gap* sesuai dengan *range gap* dan persamaan untuk mendapatkan nilai akhir.

2. Metode



Gambar 1. Metode Penelitian

Penelitian dilakukan dengan empat tahap, yaitu identifikasi awal, pengumpulan data, pengolahan data, dan analisis hasil. Tahap identifikasi awal dilakukan dengan melakukan observasi dan studi literatur, menentukan tujuan dan batasan masalah.

Tahap pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan metode kuesioner. Metode kuesioner biasanya menggunakan daftar pernyataan atau pertanyaan yang berhubungan dengan indikator-indikator yang digunakan dalam penelitian (Suharlina, 2023). Tahap ini diawali dengan pembuatan kuesioner dengan menentukan indikator dan kriteria berdasarkan klausul ISO 9001:2015 yang kemudian dikembangkan menjadi butiran pertanyaan. Penentuan skoring pada kuesioner menggunakan skala likert 1 sampai 5 dengan kriteria skala seperti pada tabel 1. Pengumpulan data dilakukan dengan melakukan penyebaran kuesioner dan wawancara terhadap responden yang ada di Pabrik XYZ. Responden yang digunakan dalam penelitian ini adalah *owner*, dan dua staf produksi dari Pabrik XYZ.

Tabel 1. *Score Gap Analysis* (Kharismanto & Pratiwi,2023)

Skor	Penjelasan
1	Jika organisasi atau perusahaan tidak memahami apa yang diperlukan dan tidak melakukan hal tersebut
2	Jika organisasi atau perusahaan memahami pentingnya aktivitas tersebut namun tidak melakukannya
3	Jika organisasi atau perusahaan memiliki dokumen namun tidak menerapkan pencatatan dan dokumentasi.
4	Jika organisasi melakukan aktivitas tetapi tidak konsisten
5	Jika organisasi atau perusahaan melakukan aktivitas dengan baik (dilakukan secara konsisten)

Tahap pengolahan data dilakukan dengan mengolah data hasil kuesioner dengan menggunakan metode gap analisis. Hasil kuesioner dikumpulkan berdasarkan setiap klausul dan kemudian dilakukan perhitungan dengan menggunakan metode *gap analysis*. Perhitungan pada metode *gap analysis* dapat dilakukan dengan menggunakan rumus persamaan.

$$\text{Presentase penilaian} = \frac{\text{Score Checklist}}{\text{Score Maksimal}} \times 100\% \quad (1)$$

Hasil dari pengolahan data tersebut disesuaikan dengan *range* persentase pada tabel 2 untuk mengetahui kesiapan perusahaan terhadap implementasi ISO 9001:2015.

Tabel 2. Range Gap Analysis (Kharismanto & Pratiwi,2023)

Persentase	Keterangan
96%-100%	Perusahaan sudah memenuhi serta mengimplementasikan sistem manajemen mutu sesuai standar persyaratan ISO 9001:2015.
90%-95%	Persyaratan serta prosedur pada persyaratan sistem manajemen mutu perusahaan untuk mengimplementasikan ISO 9001:2015 telah dipenuhi namun belum konsisten dalam pelaksanaan uraian prosedurnya.
76%-89%	Persyaratan ISO 9001:2015 beberapa sudah diimplementasikan namun belum semua
51%-75%	Masih diperlukan perbaikan pada sistem manajemen mutu perusahaan untuk mempersiapkan ISO 9001:2015 karena masih ada persyaratan yang belum diterapkan, ada persyaratan yang sudah dijalankan meskipun tidak terdokumentasikan
0%-50%	Perusahaan tidak menerapkan sistem manajemen mutu sesuai syarat yang telah ditentukan ISO 9001:2015. Masih sangat diperlukannya perbaikan serta pelatihan untuk mengimplementasikan sistem manajemen mutu ISO 9001:2015.

Tahap analisis dilakukan dengan menganalisis hasil dari pengolahan data pada setiap klausulnya. Analisis data juga berisi mengenai usulan perbaikan yang perlu dilakukan untuk klausul yang memiliki nilai terendah dan memerlukan perbaikan.

Tahap kesimpulan dilakukan untuk memberikan pernyataan secara ringkas dan menjawab dari tujuan yang telah ditetapkan. Tahap ini dilakukan dengan menarik Kesimpulan berdasarkan analisis hasil yang telah dilakukan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Rekapitulasi Hasil Kuesioner

Pada penelitian ini, dilakukan rekapitulasi hasil kuesioner berdasarkan dari proses pengumpulan data. Kuesioner yang digunakan terdiri dari 47 pertanyaan dengan jumlah responden sebanyak 3 orang, yang terdiri dari *owner* dan dua staf produksi. Kuesioner ini dilakukan dengan menggunakan skala likert 1 sampai 5. Berdasarkan kuesioner yang telah diisi oleh responden, didapatkan hasil kuesioner sebagai berikut.

Tabel 3. Rekapitulasi Skor Hasil Kuesioner

Klausul	Penjelasan Klausul	Skor Rata-Rata Responden	Skor Maksimal
4	Konteks organisasi	88,33	95
5	Kepemimpinan	104,00	115
6	Perencanaan	57,00	60
7	Pendukung	149,00	165
8	Operasi	183,00	235
9	Evaluasi Kerja	147,67	150
10	Peningkatan	58,67	60
Total		787,67	880

Hasil kuesioner didapatkan bahwa nilai klausul 4 didapatkan total nilai sebesar 265 dengan rata-rata 88,33. Pada klausul 5 didapatkan total nilai sebesar 312 dengan rata-rata sebesar 104. Pada klausul 6 didapatkan total nilai sebesar 171 dengan rata-rata sebesar 57. Pada klausul 7 didapatkan total nilai 447 dengan rata-rata sebesar 149. Pada klausul 8 didapatkan total nilai sebesar 539 dengan rata-rata sebesar 179,67. Pada klausul 9 didapatkan total nilai sebesar 443 dengan rata-rata sebesar 147,67. Pada klausul 10 didapatkan total nilai sebesar 176 dengan rata-rata sebesar 58,67.

3.2 Penilaian Kesiapan Implementasi ISO 9001:2015 menggunakan metode Gap Analysis

Kesiapan suatu perusahaan atau organisasi dapat dinilai berdasarkan persentase dari indikator setiap klausul dengan menggunakan metode perhitungan gap analysis dengan menggunakan rumus persamaan, di mana jumlah skor yang diperoleh dibagi dengan jumlah skor maksimal. Berikut merupakan rumus perhitungan skor responden pada klausul dan tabel hasil perhitungan.

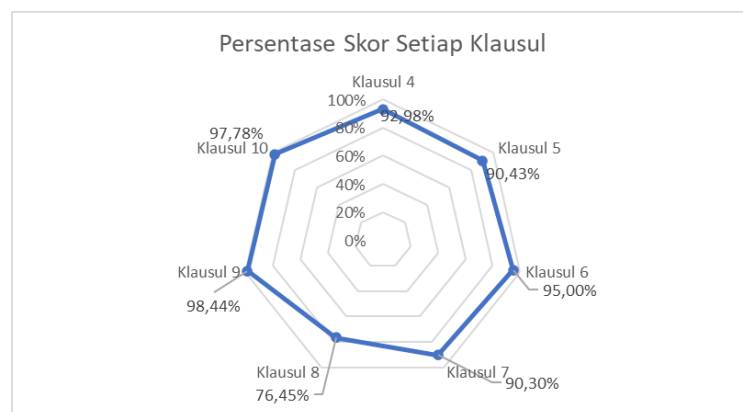
$$\begin{aligned} \text{Persentase Penilaian} &= (\text{skor rata-rata} : \text{skor maksimal}) \times 100\% \\ &= (88,33 : 95) \times 100\% \\ &= 92,98\% \end{aligned}$$

Tabel 4. Perhitungan Gap Analysis

Klausul	Penjelasan Klausul	Skor Rata-Rata Responden	Skor Maksimal	Persentase Penilaian
4	Konteks Organisasi	88,33	95	92,98%
5	Kepemimpinan	104,00	115	90,43%
6	Perencanaan	57,00	60	95,00%
7	Pendukung	149,00	165	90,30%
8	Operasi	183,00	235	77,87%
9	Evaluasi Kerja	147,67	150	98,44%
10	Peningkatan	58,67	60	97,78%
ISO 9001:2015		787,67	880	91,83%

Pabrik XYZ memiliki persentase pemenuhan sebesar 91,83%. Persentase tersebut berada pada range 90%-95% yang berarti bahwa persyaratan serta prosedur pada persyaratan sistem manajemen mutu Pabrik XYZ untuk mengimplementasikan ISO 9001:2015 telah terpenuhi namun belum konsisten dalam pelaksanaan uraian prosedurnya.

Berdasarkan perhitungan pada klausul 4 sampai 10 dapat digambarkan *spider diagram* untuk mengetahui variabel yang memiliki persentase tinggi dan rendah. Berikut merupakan *spider diagram* dari hasil kuesioner.



Gambar 2. Spider Diagram Skor Tiap Klausul

Berdasarkan *spider diagram*, didapatkan bahwa semakin luas area yang dicakup oleh *spider diagram*, maka semakin baik penerapan klausul-klausul di perusahaan tersebut. Area diagram yang luas menunjukkan bahwa perusahaan memiliki skor tinggi pada klausul tersebut, sehingga memiliki arti bahwa klausul tersebut diterapkan perusahaan secara baik. Sebaliknya, jika diagram

memiliki area yang sempit, maka terdapat klausul yang penerapannya kurang maksimal dan membutuhkan perhatian lebih.

Dari hasil *spider* diagram, mayoritas klausul di Pabrik XYZ memiliki skor di atas 90% di mana perusahaan telah menerapkan manajemen yang efektif dan kepatuhan terhadap standar yang ditetapkan, kecuali klausul 8 yang memiliki skor 76,45%. Pada klausul 8 menunjukkan area yang menyempit yang menunjukkan bahwa klausul tersebut memerlukan perhatian dan perbaikan lebih lanjut dibandingkan klausul lainnya.

3.3 Analisis Performance

Berdasarkan pengolahan data yang telah dilakukan, dapat dilakukan analisis performansi berdasarkan persentase penilaian dari setiap klausul. Pada klausul 4 (konteks organisasi) memiliki performa yang cukup baik dengan persentase rata-rata sebesar 92,98%. Organisasi telah berhasil mengelola konteksnya dengan efektif. Pada klausul 5 (kepemimpinan) memiliki performa yang cukup baik dengan persentase 90,43%. Hal ini menunjukkan komitmen yang kuat dari manajemen puncak terhadap Sistem Manajemen Mutu dan terlibat aktif dalam pengembangan, implementasi, dan pemeliharannya. Pada klausul 6 (perencanaan) memiliki performa yang cukup baik dengan persentase 95%. Hal ini menunjukkan bahwa organisasi sangat baik dalam mengidentifikasi risiko dan peluang serta menetapkan tujuan mutu. Pada klausul 7 (pendukung) memiliki performa yang cukup baik dengan persentase 90,30%. Hal ini mengindikasikan bahwa sumber daya yang diperlukan untuk mendukung SMM telah dikelola dengan baik, termasuk infrastruktur, lingkungan kerja, dan kompetensi karyawan. Pada klausul 8 (operasi) memiliki performa yang baik dengan persentase 77,87%. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun proses operasional sudah berjalan, ada kebutuhan signifikan untuk meningkatkan pengendalian operasional dan penanganan produk atau jasa yang tidak sesuai. Hal ini ditandai dengan perusahaan belum memiliki sarana untuk klaim garansi, belum melakukan dokumentasi, dan belum adanya layanan pengaduan ketidaksesuaian produk. Oleh karena itu, perlu dilakukannya perbaikan pada klausul 8. Pada klausul 9 (evaluasi kerja) memiliki performa yang sangat baik dengan persentase 98,44%. Hal ini menunjukkan bahwa organisasi sangat efektif dalam *monitoring, measurement, analysis*, dan evaluasi dari SMM. Laporan kinerja dan tindakan berdasarkan evaluasi sudah sangat baik. Pada klausul 10 (peningkatan) memiliki performa yang sangat baik dengan persentase 97,78%. Hal ini menandakan bahwa tindakan perbaikan dan peningkatan berkelanjutan sudah diterapkan dengan sangat baik. Organisasi menunjukkan kemampuan yang sangat baik dalam mengidentifikasi dan mengimplementasikan tindakan perbaikan.

3.4 Analisis Usulan Perbaikan

Dari hasil analisis hasil, diketahui bahwa klausul 8 memiliki persentase lebih rendah dibandingkan dengan klausul lainnya. Oleh karena itu, perusahaan perlu melakukan perbaikan agar perusahaan lebih siap terhadap implementasi ISO 9001:2015. Perusahaan perlu meningkatkan performa dengan cara melakukan evaluasi mendalam terhadap proses operasional dan menerapkan langkah-langkah perbaikan yang diperlukan untuk meningkatkan efisiensi dan kepatuhan terhadap persyaratan mutu seperti melakukan pencatatan persediaan yang teratur dan terdokumentasi, menyediakan layanan yang dapat digunakan untuk menghimpun umpan balik dari pelanggan dan pengaduan informasi ketidaksesuaian produk atau jasa untuk pelanggan. Perbaikan tersebut perlu dilakukan karena berdasarkan hasil kuesioner perusahaan belum melakukan hal tersebut.

4. Simpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, Pabrik XYZ memiliki persentase pemenuhan sebesar 91,83% yang berarti bahwa persyaratan serta prosedur pada persyaratan sistem manajemen mutu Pabrik XYZ untuk mengimplementasikan ISO 9001:2015 telah terpenuhi namun belum konsisten dalam pelaksanaan uraian prosedurnya. Diketahui klausul 8 memiliki persentase yang lebih kecil dibandingkan dengan klausul lainnya, yaitu sebesar 77,87%. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun proses operasional sudah berjalan, ada kebutuhan signifikan untuk meningkatkan pengendalian operasional dan penanganan produk atau jasa yang tidak sesuai. Oleh karena itu, perlu dilakukannya perbaikan pada klausul 8 dengan cara melakukan evaluasi mendalam terhadap proses operasional dan menerapkan langkah-langkah perbaikan yang diperlukan untuk meningkatkan efisiensi dan kepatuhan terhadap persyaratan mutu seperti melakukan pencatatan persediaan yang teratur dan terdokumentasi, menyediakan layanan yang dapat digunakan untuk menghimpun umpan balik dari pelanggan dan pengaduan informasi ketidaksesuaian produk atau jasa untuk pelanggan.

Daftar Pustaka

- Aji, A. P. (2022). Analisis Implementasi SMK3 dengan Metode Gap Analysis pada PT Toyota Motor Manufacturing Indonesia. *Industrial Engineering Online Journal*, 11(3).
- Apriani, A. S., & Renosori, P. (2022). Analisis Gap untuk Kesiapan Sertifikasi Sistem Manajemen Mutu ISO 9001: 2015 di CV Ardian. In *Bandung Conference Series: Industrial Engineering Science* (Vol. 2, No. 1, pp. 72-78).
- Ayuningtyas, U., dkk. (2022). Pemanfaatan *Fly Ash* dan *Bottom Ash* Sebagai Material Konstruksi Ramah Lingkungan Dalam Rangka Mendukung Kriteria Bangunan Hijau. *Seminar Nasional Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat*.
- Fauzi, L. C. (2019). Analisis Pengaruh Sertifikasi ISO sebagai Sistem Manajemen Mutu terhadap Kinerja Perusahaan. *Farmaka*, 17(1), 144-150.
- Hasanudin, M., Heni, H., Karyanti, T. D., & Febriyanti, A. (2021). Manajemen Risiko Pada Prodi Div Akuntansi Manajerial (Berdasarkan Gap Analysis Iso 9001: 2015). In *Prosiding Seminar Hasil Penelitian Dan Pengabdian Masyarakat* (Vol. 2, No. 1).
- Ikhtiar, I., Orgianus, Y., & Bachtiar, I. (2023). Perancangan Sistem Manajemen Mutu (SMM) Berdasarkan International Organization for Standardization (ISO) 9001: 2015 dan Hasil Gap Analysis. *Jurnal Riset Teknik Industri*, 43-50.
- Jannah, S. S. (2023). Skripsi Kajian Penerapan Manajemen Mutu Perusahaan Konstruksi Menengah di Jawa Tengah Menggunakan Iso.
- Kharismanto, M., & Pratiwi, I. I. (2023). Perancangan Standard Operating Procedure untuk Menunjang Key Performance Indicator di SPS 3 PT. Tirta Investama Klaten (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta).
- Murnan, Yulianto, K., Umar. (2022). Evaluasi Kinerja Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Lombok Timur Berbasis ISO 9001:2015. *Jurnal Ranah Publik Indonesia Kontemporer*, 2(1), pp. 131-149.
- Prihatmadji, W., Utami, N. S., Chaerunisyah, A., Rahman, D. A., & Toana, R. D. A. (2022). Audit Sertifikasi Iso 9001: 2015 Dan Implikasinya di Institut STIAMI. *JISAMAR (Journal of Information System, Applied, Management, Accounting and Research)*, 6(2), 375-386.
- Prihatmadji, W., Zulfikar, A., Oktafiani, S., Hendrawan, A., Pranita, F. L. (2022). Korelasi Antara Sistem Manajemen Mutu ISO 9001:2015 dengan Sistem Manajemen Pendidikan
- Ramadan, Z. H. (2022). Standarisasi Kualitas Riset di Sekolah Dasar. *Jurnal on Education*, 5(2), pp. 1932-1939.

- Rofiq, A. (2021). Analisis Kesiapan Sertifikasi ISO 9001: 2015 Dengan Metode Gap Analysis Tools Guna Meningkatkan Mutu Pada Perusahaan Jasa Servis Elektronik CV Berkah Bersama Putra. *SIJIE Scientific Journal of Industrial Engineering*, 2(2), 75-79.
- Suharlina, S. (2023). Pengaruh Kualitas Pelayanan, Harga Dan Lokasi Terhadap Keputusan Pembelian Konsumen Pada Rumah Makan. *Forecasting: Jurnal Ilmiah Ilmu Manajemen*, 1(9), 113-125.
- Wibowo, A., Riset, P., Standardisasi, P. B., Kompleks, N., Gedung, P., & Selatan, K. T. (2020). Potensi pengembangan standar nasional Indonesia (SNI) produk garam konsumsi beryodium dalam rangka meningkatkan daya saing. *Prosiding PPIS*, 79-88.

Analisis Penilaian Kualitas Karung NPK Phonska Subsidi Pada Proses *Incoming Material Inspection* di PT Petrokimia Gresik dengan Metode *Six Sigma*

Maulidan Mirza Tsany Gozali^{*1)}, Ilham Priadythama²⁾

¹⁾Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami No.36 Kingtonan Jebres, Surakarta, 57126, Indonesia

Email: mirzagozali@student.uns.ac.id, priadythama@staff.uns.ac.id

ABSTRAK

Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi telah mendorong PT Petrokimia Gresik untuk menghasilkan produk berkualitas tinggi guna mempertahankan loyalitas pelanggan dan tetap bersaing di pasar global yang kompetitif. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan mengatasi masalah penolakan untuk meningkatkan kualitas produk karung NPK Phonska Subsidi dengan menggunakan metode *Six Sigma* DMAIC. Berdasarkan hasil penelitian, Proses keberterimaan karung plastik NPK Phonska subsidi PT Petrokimia Gresik tahun 2023 mencapai level 3 & 4 sigma dengan Cpk 0,809, namun peningkatan kualitas masih diperlukan, terutama pada empat vendor yang berkontribusi pada tingginya *reject rate*. Jenis *off spec* utama penyebab *reject* adalah kuat tarik jahit karung luar dan kuat tarik rekat panas kantong dalam. Tindakan perbaikan yang diusulkan meliputi peningkatan pemantauan produksi, keterlibatan operator, komunikasi dengan vendor, pertimbangan masa simpan material, dan optimalisasi fungsi penyimpanan.

Kata kunci: DMAIC, Kualitas, *Off Spec*, *Six Sigma*, Vendor

1. Pendahuluan

Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi telah mendorong industri untuk menghasilkan produk berkualitas tinggi guna mempertahankan loyalitas pelanggan dan tetap bersaing di pasar global yang kompetitif (Pratama & Suhartini, 2021). PT Petrokimia Gresik, sebuah perusahaan manufaktur kimia yang bergerak di bidang industri pupuk, memiliki struktur organisasi yang kompleks, termasuk Direktorat Keuangan & Umum dan Direktorat Operasi & Produksi. Di bawah Direktorat Keuangan & Umum terdapat Kompartemen Teknik yang mencakup Departemen Perencanaan & Penerimaan Barang/Jasa (PPBJ), yang bertugas memastikan bahwa barang dan jasa yang diterima sesuai dengan standar kualitas yang ditentukan.

Kualitas barang yang diterima sangat penting untuk menjaga konsistensi material dan menentukan kualitas produk akhir. Tingkat kepuasan pelanggan terhadap produk akhir sangat berpengaruh pada keberlangsungan perusahaan dalam menghadapi persaingan bisnis. Indikator kualitas produksi yang baik adalah tingkat penolakan (*reject rate*) yang rendah. Metode *Six Sigma* digunakan untuk mengevaluasi dan meningkatkan kualitas produk dengan mengurangi risiko kegagalan (Pangestu & Fahma, 2018). *Six Sigma* menggunakan langkah-langkah *Define, Measure, Analyze, Improve, dan Control* (DMAIC) untuk mengidentifikasi dan mengatasi masalah penolakan.

Penelitian ini bertujuan untuk memberikan kontribusi bagi PT Petrokimia Gresik dalam perbaikan kualitas proses produksi dan produk yang dihasilkannya. Penelitian ini berjudul "Analisis Penilaian Kualitas Material Kemasan Karung Npk Phonska Subsidi Pada Proses *Incoming Material Inspection* Di PT Petrokimia Gresik Dengan Metode *Six Sigma*". Dengan penelitian ini, diharapkan perusahaan dapat mengevaluasi dan meningkatkan kualitas produk guna meningkatkan kepuasan pelanggan dan keberlangsungan perusahaan.

2. Metode

Penelitian ini diawali dengan melakukan identifikasi awal melalui pengamatan dan wawancara serta pengumpulan data terkait jumlah *off spec* karung plastik NPK Phonska Subsidi dari Januari hingga Desember 2023 dan data dari 10 vendor. Wawancara dilakukan dengan

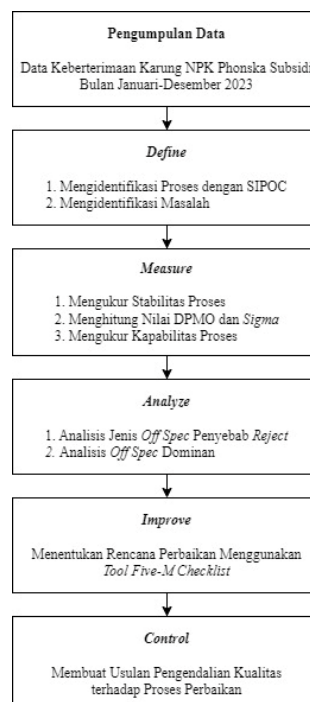
karyawan bagian Perencanaan Barang, Penerimaan Material, Inspeksi Khusus, dan Supervisor untuk memahami proses penerimaan dan jenis *off spec* yang terjadi.

Selanjutnya dilakukan pengumpulan data dan analisis dengan pendekatan metode *Six Sigma* DMAIC berdasarkan masing-masing tahapannya. Menurut Al-Faritsy & Apriliani (2022), DMAIC merupakan serangkaian tahapan yang harus ditempuh dalam suatu proyek perbaikan yang merupakan singkatan dari *Define, Measure, Analyze, Improve, dan Control*.

- a. Tahap *Define* adalah tahap awal dalam peningkatan kualitas dengan metode Six Sigma. Langkah-langkahnya meliputi identifikasi proses menggunakan diagram SIPOC (*Supplier-Input-Process-Output-Customer*) dan identifikasi masalah berdasarkan penjelasan bagian Perencanaan dan Penerimaan Material untuk karung di dept. PPBJ.
- b. Tahap *Measure* bertujuan mengukur kemampuan proses penerimaan karung plastik NPK Phonska Subsidi di PT Petrokimia Gresik selama tahun 2023. Pengukuran meliputi stabilitas proses dengan peta kendali, perhitungan DPMO (*Defects Per Million Opportunities*), sigma penerimaan karung, kapabilitas proses, dan analisis tiap vendor.
- c. Tahap *Analyze* bertujuan mengetahui penyebab masalah dengan analisis faktor-faktor potensial penyebab *off spec*. Langkah-langkahnya meliputi analisis dominan *off spec* menggunakan diagram pareto dan analisis jenis *off spec* penyebab reject menggunakan *cause-effect diagram*.
- d. Tahap *Improve* bertujuan menyusun rencana tindakan perbaikan proses penerimaan karung plastik NPK Phonska Subsidi untuk mengurangi *off spec*. Perbaikan disusun menggunakan *tool Five-M Checklist*.
- e. Tahap *Control* bertujuan mengendalikan rencana perbaikan yang telah disusun dengan memberikan usulan pengendalian kualitas bagi PT Petrokimia Gresik.

Tahap kesimpulan dan saran menyimpulkan hasil penelitian dengan fokus mengurangi *reject rate* dan meningkatkan kualitas karung plastik NPK Phonska Subsidi di PT Petrokimia Gresik. Tahap ini juga memberikan saran agar perusahaan dan vendor dapat menerapkan usulan perbaikan dari analisis yang telah dilakukan.

Gambar 1 merupakan *flowchart* DMAIC pada penelitian analisis penilaian kualitas karung NPK Phonska Subsidi pada proses *incoming material inspection* di PT Petrokimia Gresik.



Gambar 1. Flowchart DMAIC Penelitian

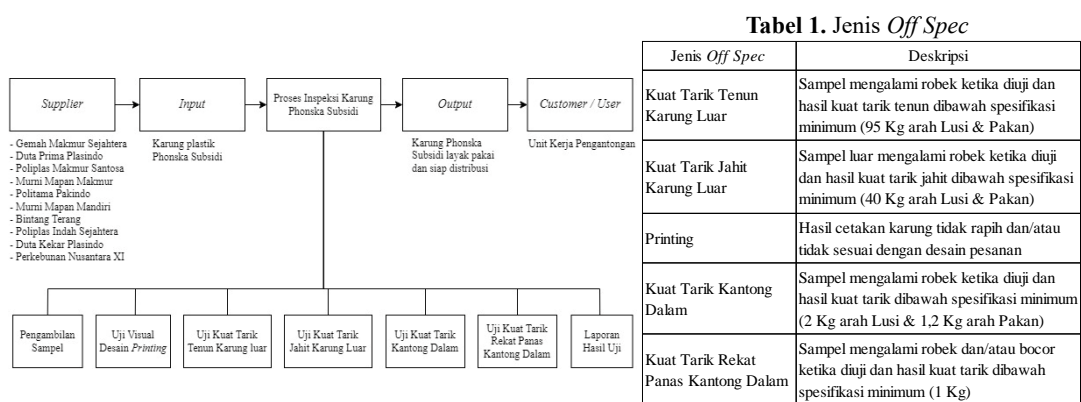
3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan metode penelitian yang digunakan, yaitu *Six Sigma DMAIC* terdapat 5 tahapan dari metode tersebut. Berikut merupakan penjabaran dari setiap tahapan DMAIC dalam analisis penilaian kualitas karung plastik NPK Phonska Subsidi.

a. Define

Tahap *Define* bertujuan untuk mendefinisikan masalah yang sedang terjadi secara rinci. Langkah-langkah yang dilakukan pada tahap ini adalah mengidentifikasi proses menggunakan diagram SIPOC. Suhartini dkk, (2020) menyatakan diagram SIPOC membantu memahami hubungan variabel dari input hingga output dalam proses keberterimaan karung sehingga masalah yang terjadi di perusahaan mampu diidentifikasi.

Gambar 2 merupakan diagram SIPOC alur proses keberterimaan karung NPK Phonska Subsidi pada dept PPBJ dan tabel 1 merupakan kelima jenis *off spec* yang digunakan sebagai *Critical to Quality* yakni syarat keberterimaan kemasan karung yang akan menjadi inputan terhadap proses produksi berikutnya.



Gambar 2. Diagram SIPOC Proses Keberterimaan Karung NPK Phonska Subsidi

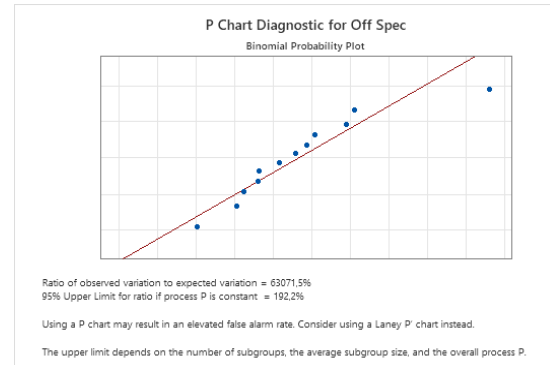
b. Measure

Tahap *Measure* dilakukan untuk mengukur kemampuan proses keberterimaan karung plastik NPK Phonska Subsidi di PT Petrokimia Gresik selama tahun 2023. Tahap ini meliputi pengukuran stabilitas proses dengan peta kendali, perhitungan nilai DPMO dan sigma, serta pengukuran kapabilitas proses keberterimaan karung dan setiap vendor.

Pengukuran stabilitas proses menggunakan peta kendali bertujuan untuk mengetahui apakah proses terkendali secara statistik atau tidak, dimana yang digunakan adalah jenis peta kendali P (*p-chart*). Menurut Darsini dan Wahyuningsih (2022), peta kendali P berguna untuk mengukur proporsi *off spec* dari produk yang tidak memenuhi syarat spesifikasi yang telah ditetapkan. Tabel 2 merupakan data *off spec* karung NPK Phonska Subsidi periode Januari-Desember 2023. Berdasarkan data tersebut, dilakukan diagnosis untuk mengetahui tingkat *dispersion* pada data menggunakan *software* minitab.

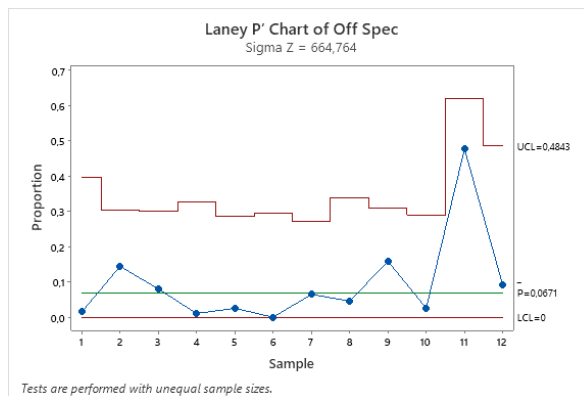
Tabel 2. Rekapitulasi *Reject Rate* Tahun 2023

Periode	Diterima	Off Spec	Proporsi Off Spec
Januari	2294500	35000	1,53%
Februari	4509000	650000	14,42%
Maret	4630500	370000	7,99%
April	3728000	40000	1,07%
Mei	5239458	132500	2,53%
Juni	4764500	0	0,00%
Juli	6054000	392000	6,48%
Agustus	3389042	155000	4,57%
September	4235000	670000	15,82%
Oktober	5031500	130000	2,58%
November	820000	390000	47,56%
Desember	1430000	130000	9,09%
Total	46125500	3094500	6,71%



Gambar 3. Hasil Diagnosis Peta Kendali P

Berdasarkan hasil diagnosis di atas, diketahui data tersebut mengalami *overdispersion* karena rasio variasi data yang diamati dengan variasi yang diekspektasi berdasarkan distribusi binomial lebih besar daripada batas atas pada rasio 95% jika proses konstan ($63071,5\% > 192,2\%$). Selanjutnya dilakukan perhitungan peta kendali Laney P' menggunakan *software* minitab.



Gambar 4. Peta Kendali Laney P' Proses Keberterimaan Karung NPK Phonska Subsidi

Berdasarkan peta kendali Laney P' di atas, dapat diketahui bahwa proses penerimaan kemasan karung NPK Phonska subsidi telah terkendali secara statistik karena tidak terdapat data yang berada di luar batas kendali. Perhitungan kapabilitas proses dapat dilakukan hanya apabila proses sudah terkendali secara statistik (Wibowo et al., 2019). Sehingga, perhitungan dapat berlanjut ke perhitungan nilai DPMO dan *sigma*.

Menurut Bachtiar dkk. (2021), DPMO adalah ukuran yang menunjukkan tingkat kegagalan suatu proses berdasarkan jumlah *reject* per satu juta kesempatan. Sumarsono dkk. (2021) menyatakan target nilai DPMO yang ditetapkan pengendalian kualitas adalah sebesar 3,4 di mana diharapkan terjadi hanya 3-4 *reject* per satu juta produk. Menurut Hanifah dan Iftadi (2022), perhitungan *sigma* bertujuan untuk mengetahui kemampuan perusahaan dalam mengendalikan proses untuk menghasilkan produk melalui nilai *sigma* yang diperoleh.

Perhitungan nilai *sigma* mengizinkan adanya pergeseran sebesar 1,5 *sigma* sedangkan banyaknya *opportunity* yang digunakan adalah sebanyak CTQ yang telah ditetapkan, yaitu 5 penentu karakteristik kualitas. Berikut merupakan rumus perhitungan nilai DPMO dan *sigma* beserta tabel hasil perhitungan nilai DPMO dan *sigma*.

- Menghitung *reject per million opportunity* (DPMO)

$$DPMO = \frac{\text{Total Reject}}{\text{Total inspeksi} \times CTQ} \times 1.000.000$$

- Menghitung nilai *sigma*

$$\text{Nilai Sigma} = \text{NORMISNV} \left(1 - \frac{\text{DPMO}}{1.000.000} \right) + 1,5$$

Tabel 3. Perhitungan nilai DPMO dan Sigma

Periode	Dikirim	Off Spec	CTQ	DPMO	Sigma
Januari	2294500	35000	5	3050,77	4,242
Februari	4509000	650000	5	28831,23	3,398
Maret	4630500	370000	5	15981,00	3,645
April	3728000	40000	5	2145,92	4,356
Mei	5239458	132500	5	5057,78	4,072
Juni	4764500	0	5	3,40	6,000
Juli	6054000	392000	5	12950,12	3,728
Agustus	3389042	155000	5	9147,13	3,860
September	4235000	670000	5	31641,09	3,357
Oktober	5031500	130000	5	5167,45	4,064
November	820000	390000	5	95121,95	2,810
Desember	1430000	130000	5	18181,82	3,593
Total	46125500	3094500	Rata-rata	18939,97	3,927

Perhitungan kapabilitas (*Cpk*) proses bertujuan untuk mengukur kemampuan proses dalam menghasilkan produk yang sesuai dengan kebutuhan atau harapan konsumen (Rimantho & Athiyah, 2019). Klasifikasi dan definisi dari kriteria indeks kapabilitas proses menurut MC Fadden (1993) adalah sebagai berikut:

- $Cpk \geq 1,5$; maka proses dianggap mampu dan kompetitif
- $0,5 \leq Cpk \leq 1,5$; maka proses dianggap cukup mampu, namun perlu upaya-upaya giat untuk peningkatan kualitas menuju target yang diinginkan. Perusahaan yang berada di level ini memiliki kesempatan terbaik dalam melakukan program peningkatan kualitas *six sigma*.
- $Cpk < 0,5$; maka proses dianggap tidak mampu dan tidak kompetitif untuk bersaing dipasar global

Tabel 4 merupakan tabel penentuan nilai *Cpk* dari konversi level sigma. Perhitungan nilai indeks kapabilitas proses *Cpk* dilakukan dari perhitungan rata-rata nilai sigma sebesar 3,927. Berikut merupakan perhitungan indeks kapabilitas proses dari rata-rata nilai sigma.

Tabel 4. Konversi Level Sigma

Level Sigma	Pergeseran Proses $\pm 1,5\sigma$	
	<i>Cpk</i>	DPMO
3	0,5	66.807
4	0,833	6.210
5	1,167	233
6	1,5	3,4

$$\frac{3,927 - 3}{4 - 3} = \frac{x - 0,5}{0,833 - 0,5}$$

$$\frac{0,927}{1} = \frac{x - 0,5}{0,333}$$

$$x = (0,927 \times 0,333) + 0,5$$

$$x = 0,809$$

Berdasarkan perhitungan di atas, diperoleh nilai *Cpk* sebesar 0,809 yang berarti bahwa proses penerimaan kemasan karung NPK Phonska subsidi dinilai cukup mampu karena berada dalam rentang $0,5 \leq Cpk \leq 1,5$. Meskipun demikian, diperlukan upaya peningkatan kualitas karena pada level ini merupakan kesempatan terbaik dalam melakukan rencana peningkatan kualitas.

Perhitungan kapabilitas proses tiap vendor karung bertujuan untuk mengetahui vendor mana yang memiliki tingkat kapabilitas rendah guna mengidentifikasi penyebab *reject rate* tinggi dan solusi untuk menekan *reject rate* tersebut. Tabel 5 merupakan data *off spec* pengiriman karung setiap vendor pada tahun 2023.

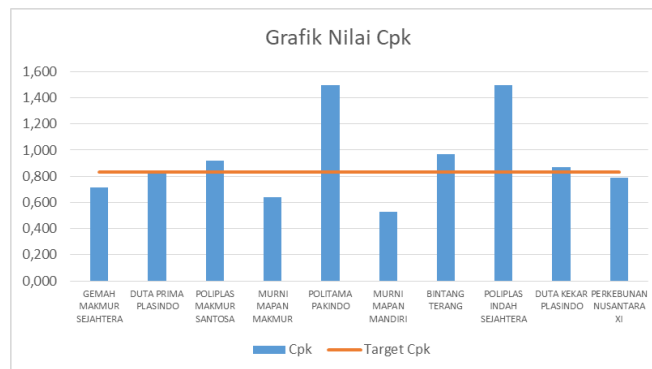
Tabel 5. Rekapitulasi *Off Spec* pengiriman karung setiap vendor tahun 2023

Rekanan	Dikirim	<i>Off Spec</i>	Proporsi <i>Off Spec</i>
GEMAH MAKMUR SEJAHTERA	3771500	305000	8,09%
DUTA PRIMA PLASINDO	4094000	125000	3,05%
POLIPLAS MAKMUR SANTOSA	10600000	150000	1,42%
MURNI MAPAN MAKMUR	6212000	840000	13,52%
POLITAMA PAKINDO	1800000	0	0,00%
MURNI MAPAN MANDIRI	4960500	1419500	28,62%
BINTANG TERANG	4455500	40000	0,90%
POLIPLAS INDAH SEJAHTERA	2700000	0	0,00%
DUTA KEKAR PLASINDO	5525000	125000	2,26%
PERKEBUNAN NUSANTARA XI	2007000	90000	4,48%

Untuk mengetahui kapabilitas proses setiap vendor, perlu dilakukan langkah perhitungan yang serupa dengan perhitungan mencari kapabilitas proses keberterimaan karung, yaitu pengukuran stabilitas proses para vendor, perhitungan nilai DPMO dan sigma setiap vendor, dan diakhiri perhitungan kapabilitas proses setiap vendor. Berikut merupakan tabel hasil perhitungan nilai DPMO, sigma, dan kapabilitas proses setiap vendor serta grafik indeks kapabilitas proses tiap vendor.

Tabel 6. Perhitungan DPMO, Sigma, dan Kapabilitas Tiap Vendor

No.	Rekanan	Dikirim	<i>Off Spec</i>	CTQ	DPMO	Sigma	Cpk
1	GEMAH MAKMUR SEJAHTERA	3771500	305000	5	16173,94	3,6401	0,713
2	DUTA PRIMA PLASINDO	4094000	125000	5	6106,50	4,0059	0,835
3	POLIPLAS MAKMUR SANTOSA	10600000	150000	5	2830,19	4,2668	0,922
4	MURNI MAPAN MAKMUR	6212000	840000	5	27044,43	3,4261	0,642
5	POLITAMA PAKINDO	1800000	0	5	3,4	5,9999	1,499
6	MURNI MAPAN MANDIRI	4960500	1419500	5	57232,13	3,0784	0,526
7	BINTANG TERANG	4455500	40000	5	1795,53	4,4120	0,970
8	POLIPLAS INDAH SEJAHTERA	2700000	0	5	3,4	5,9999	1,499
9	DUTA KEKAR PLASINDO	5525000	125000	5	4524,89	4,1102	0,870
10	PERKEBUNAN NUSANTARA XI	2007000	90000	5	8968,61	3,8669	0,789
Total		46125500	3094500	Rata-rata	12468,30	4,2806	



Gambar 7. Grafik Indeks Kapabilitas Proses (Cpk) Tiap Vendor

Ditetapkan 4 Sigma ($Cpk = 0,833$) sebagai standar minimum kapabilitas yang harus dipenuhi oleh setiap vendor guna meningkatkan kapabilitas penerimaan atau menekan *reject rate* secara keseluruhan, maka terdapat 4 vendor dengan nilai Cpk paling rendah yang perlu dilakukan perbaikan kapabilitas proses. Ke-empat rekanan tersebut terdiri dari Murni Mapan Mandiri, ($Cpk = 0,526$), Murni Mapan Makmur ($Cpk = 0,642$), Gemah Makmur Sejahtera ($Cpk = 0,713$), dan Perkebunan Nusantara XI ($Cpk = 0,789$).

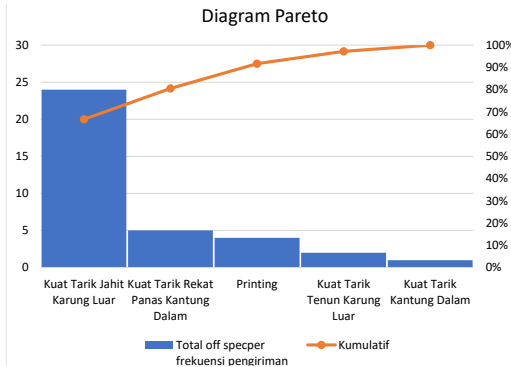
c. *Analyze*

Tahap *analyze* dilakukan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang potensial menjadi penyebab permasalahan menggunakan *tool* yang sesuai. Langkah-langkah yang dilakukan adalah menganalisis *off spec* paling dominan menggunakan diagram pareto dan menganalisis

penyebab *off spec* menggunakan *cause-effect diagram*. Menurut Juwito dan Al-Faritsy (2022), diagram pareto digunakan dalam analisis *off spec* untuk memfokuskan perbaikan dari jenis *off spec* yang paling dominan. Berikut merupakan persentase kumulatif jenis *off spec*.

Tabel 8. Persentase Kumulatif Jenis *Off Spec*

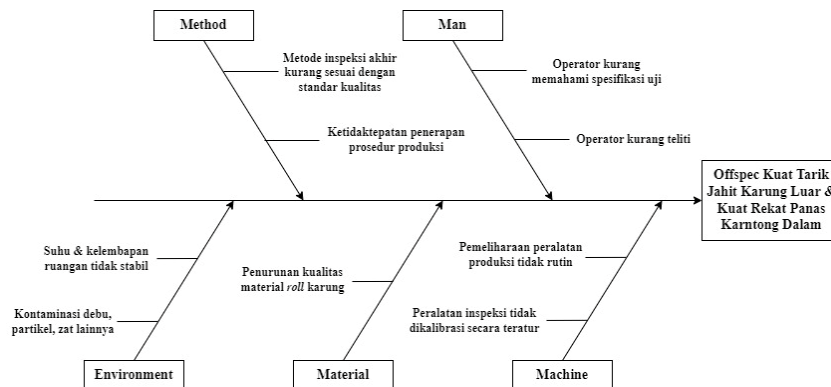
No	Jenis <i>off spec</i>	Total <i>off spec</i> per frekuensi pengiriman	Persentase	Kumulatif
1	Kuat Tarik Jahit Karung Luar	24	66,67%	66,67%
2	Kuat Tarik Rekat Panas Kantong Dalam	5	13,89%	80,56%
3	Printing	4	11,11%	91,67%
4	Kuat Tarik Tenun Karung Luar	2	5,56%	97,22%
5	Kuat Tarik Kantong Dalam	1	2,78%	100,00%
Total		36	100%	



Gambar 6. Diagram Pareto Jenis *Off Spec*

Berdasarkan diagram pareto di atas, diketahui bahwa *off spec* dominan yang terjadi adalah *off spec* pada uji kuat tarik jahit karung luar (66,67%) dan kuat tarik rekat panas kantong dalam (13,89%). Prinsip pareto menyatakan bahwa nilai kumulatif 80% dapat mewakili seluruh jenis cacat. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan untuk mengidentifikasi penyebab *reject* yang terjadi pada kedua jenis *off* tersebut.

Analisis penyebab jenis *off spec* dilakukan menggunakan *cause effect diagram* untuk mengetahui penyebab terjadinya *off spec* uji kuat tarik jahit karung luar dan kuat tarik rekat panas kantong dalam. *Cause effect diagram* mengkategorikan faktor penyebab *off spec* ke dalam 5 kategori, yaitu *man*, *machine*, *material*, *method*, dan *environment* yang akan digunakan sebagai pertimbangan untuk melakukan perbaikan. Berikut merupakan hasil analisis penyebab terjadinya *off spec* menggunakan *cause effect diagram*.



Gambar 7 Cause Effect Diagram *Off Spec* Kuat Tarik Jahit Karung Luar Dan Rekat Panas Kantong Dalam

d. *Improve*

Tahap *improve* dilakukan untuk memberikan usulan perbaikan kepada pihak perusahaan dan vendor berdasarkan penyebab masalah yang telah diidentifikasi. Rencana perbaikan ini disusun menggunakan *tools Five-M Checklist* dengan cara menentukan usulan perbaikan untuk setiap permasalahan yang muncul menggunakan elemen 5 M.

Tabel 9. *Five-M Checklist Off Spec* Uji Kuat Tarik Karung Luar dan Kuat Tarik Rekat Panas Kantung Dalam

Faktor	Masalah	Usulan Perbaikan
<i>Man</i>	Operator vendor kurang teliti selama pelaksanaan prosedur produksi karung plastik	<ul style="list-style-type: none"> - Meningkatkan tingkat pemantauan selama pelaksanaan prosedur produksi dan pengawasan kualitas untuk memastikan bahwa setiap langkah diikuti dengan benar - Meningkatkan intensitas pelatihan untuk operator terkait pemahaman spesifikasi uji yang diperlukan - Memastikan bahwa operator memahami pentingnya setiap parameter dan kriteria yang harus dipenuhi
	Operator kurang memahami spesifikasi uji yang diinginkan sesuai dengan penerapan prosedur dan standar kualitas	
<i>Machine</i>	Pemeliharaan peralatan produksi karung plastik tidak dilakukan secara rutin dalam jangka waktu tertentu	<ul style="list-style-type: none"> - Mendorong keterlibatan operator dalam pemeliharaan harian, seperti pembersihan dan pemeriksaan awal - Menetapkan jadwal kalibrasi teratur untuk peralatan inspeksi yang disediakan oleh vendor
	Peralatan inspeksi vendor tidak dikalibrasi secara teratur dalam jangka waktu tertentu	
<i>Method</i>	Ketidaktepatan dalam penerapan prosedur produksi karung plastik yang ditetapkan	<ul style="list-style-type: none"> - Meningkatkan kinerja tim yang bertanggung jawab untuk memonitor dan mengevaluasi penerapan prosedur produksi - Meningkatkan intensitas komunikasi terbuka dan pertemuan berkala dengan vendor untuk membahas masalah kualitas dan perbaikan yang diperlukan - Mengembangkan rencana tindak kualitas yang jelas dan tanggap terhadap ketidaksesuaian bersama vendor
	Metode inspeksi akhir vendor kurang sesuai dengan standar kualitas yang ditetapkan	
<i>Material</i>	Penurunan kualitas material <i>roll</i> karung akibat penyimpanan terlalu lama	<ul style="list-style-type: none"> - Implementasikan sistem manajemen inventaris yang memantau masa simpan setiap roll karung - Memasukkan pertimbangan mengenai masa simpan saat melakukan pengadaan material baru
<i>Environment</i>	Suhu dan kelembapan di ruang penyimpanan tidak stabil	<ul style="list-style-type: none"> - Meningkatkan kuantitas dan kualitas peralatan atau perangkat untuk memonitoring kondisi ruangan - Mengoptimalkan fungsi ruangan penyimpanan sehingga terisolasi dengan baik dari lingkungan eksternal
	Kontaminasi dari debu, partikel, atau zat asing lainnya mempengaruhi kualitas jahitan dan kekuatan material	

e. *Control*

Tahap *control* dilakukan untuk mengendalikan rencana perbaikan yang telah disusun pada tahap *improve*. Tahap ini perlu dilakukan karena proses perbaikan tidak akan mencapai hasil maksimal tanpa adanya pengendalian terhadap hasil perbaikan tersebut. Berikut merupakan bentuk pengendalian yang perlu dilakukan:

- 1) PT Petrokimia Gresik melakukan audit berkala kepada setiap vendor karung, terutama keempat vendor dengan Cpk terendah, untuk memastikan proses produksi terkendali.
- 2) QC leader melakukan pengukuran ulang, mereview ulang proses quality control di vendor, dan memperbarui SOP sesuai spesifikasi kualitas yang diminta.
- 3) QC leader melakukan pengawasan ketat pada *critical processes* untuk meminimalkan *reject* dan menghitung nilai *sigma* secara berkala.
- 4) Penerapan SOP yang mewajibkan vendor memberikan *pre-delivery sample* untuk menentukan kelayakan lot karung sebelum dikirim.
- 5) QC leader merekam data perbaikan terhadap *reject* untuk analisis perbandingan proses sebelum dan sesudah perbaikan menggunakan *tools* seperti *checksheet* dan *control chart*.
- 6) Supervisor mendokumentasikan dan mensosialisasikan usaha peningkatan kualitas produk kepada departemen PPBJ dan vendor terkait.

4. Simpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, proses keberterimaan karung plastik NPK Phonska subsidi PT Petrokimia Gresik tahun 2023 mencapai level 3 & 4 sigma, yang berada di atas rata-rata industri Indonesia, dengan nilai Kapabilitas Proses (Cpk) sebesar 0,809. Meskipun cukup baik, peningkatan kualitas tetap masih diperlukan. Empat vendor dengan kapabilitas proses di bawah rata-rata, yaitu Murni Mapan Mandiri, Murni Mapan Makmur, Gemah Makmur Sejahtera, dan Perkebunan Nusantara XI, berkontribusi pada tingginya *reject rate* dan memerlukan evaluasi perbaikan kualitas.

Jenis *off spec* utama yang menyebabkan reject adalah kuat tarik jahit karung luar dan kuat tarik rekat panas kantung. Menggunakan Prinsip Pareto, penelitian difokuskan pada kedua jenis *off spec* tersebut karena mereka mencakup 80% dari semua cacat. Tindakan perbaikan yang diusulkan kepada vendor termasuk peningkatan pemantauan selama produksi, keterlibatan operator dalam pemeliharaan harian, peningkatan komunikasi dan pertemuan berkala dengan vendor, mempertimbangkan masa simpan saat pengadaan material baru, serta optimalisasi fungsi penyimpanan untuk isolasi dari lingkungan eksternal.

Daftar Pustaka

- Al-Faritsy, A. Z., & Apriliani, C. (2022). Analisis Pengendalian Kualitas Untuk Mengurangi Cacat Produk Tas Dengan Metode Six Sigma Dan Kaizen. *Jurnal Cakrawala Ilmiah*, 1(11), 2723-2732.
- Bachtiar, M., Dahda, S. S., & Ismiyah, E. (2021). Analisis Pengendalian Kualitas Produk Pap Hanger Menggunakan Metode Six Sigma Dan Fmea Di Pt. Ravana Jaya Manyar Gresik. *JUSTI (Jurnal Sistem Dan Teknik Industri)*, 1(4), 609.
- Darsini, & Wahyuningsih, N. (2022). Analisis Pengendalian Kualitas Produk pada Proses *Extruder* Benang Plastik. *Metrik Serial Humaniora Dan Sains*, 3(2), 45-52.
- Hanifah, P. S. K., & Iftadi, I. (2022). Penerapan Metode Six Sigma dan Failure Mode Effect Analysis untuk Perbaikan Pengendalian Kualitas Produksi Gula. *Jurnal INTECH Teknik Industri Universitas Serang Raya*, 8(2), 90–98.
- Juwito, A. & Al-Faritsy A. Z. (2022). Analisis Pengendalian Kualitas Untuk Mengurangi Cacat Produk Dengan Metode *Six Sigma* Di UMKM Makmur Santosa. *Jurnal Cakrawala Ilmiah*, 1(12), 3295-3315.
- Muflihah, N., WG, S. R., Mayasari, A., & FA, F. A. N. (2021). Pengembangan Kualitas Produk Seragam Sekolah dengan Metode Six Sigma di Tpkp Pp. Tebuireng. *ABIDUMASY Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat*, 2(1), 19-30.
- Pangestu, P. & Fahma, F. (2018). Implementasi *Six Sigma* dalam Peningkatan Kualitas Proses Produksi LED TV di PT Sharp Electronics Indonesia. *Media Ilmiah Teknik Industri*, 17(2), 152-164.
- Pratama, F. S., & Suhartini. (2021). Analisis Kecacatan Produk dengan Metode Seven Tools dan FTA dengan Mempertimbangkan Nilai Risiko berdasarkan Metode FMEA. *Jurnal SENOPATI*, 3, 1–10.
- Rimantho, D., & Athiyah (2019). Analisis Kapabilitas Proses Untuk Pengendalian Kualitas Air Limbah Di Industri Farmasi. *Jurnal Teknologi*, 11(1), 1-8.
- Suhartini, Basjir, M., & Hariyono, A. T. (2020). Pengendalian Kualitas Menggunakan Pendekatan Six Sigma Dan Metode New Seventools Sebagai Upaya Perbaikan Produk Defect. *Journal of Research and Technology*, 21(1), 1–9.
- Sumarsono, Muflihah, N., Rahmawan, S.W.G, Mayasari, A., Minto, & Nuning F.A.F.A (2021). Pengembangan Kualitas Produk Seragam Sekolah dengan Metode Six Sigma di Tpkp Pp.Tebuireng. *ABIDUMASY Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 2(1), 19–30.
- Wibowo, H., Khikmawati, E., & Sagala, M. (2019). Analisis Statistical Quality Control Bahan Olahan Karet (Bokar) Jenis Sir 20 Dengan Pendekatan Peta Kendali. *SEMDI UNAYA*, 3(1), 1–10.

Interaksi Hubungan Penilaian Infrastruktur Dalam Peningkatan Dimensi Ekologi & Kemiskinan Menuju IDM Desa Mandiri Berkelanjutan Desa Sidorejo, Tirtomoyo, Wonogiri

Iwan Ristanto^{a)1)}, Tantin Pristiawati²⁾, Suprpto³⁾

^{a)}Mahasiswa Program Doktor Ilmu Teknik, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta, Jl. Colombo No.1 Karangmalang Yogyakarta. Kode Pos: 55281, Indonesia

¹⁾Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Veteran Bangun Nusantara Sukoharjo,

Jl. Letjen S. Humardani No.1 Jombor, Bendosari, Sukoharjo. Kode Pos: 5752, Indonesia

²⁾Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Veteran Bangun Nusantara Sukoharjo,

Jl. Letjen S. Humardani No.1 Jombor, Bendosari, Sukoharjo. Kode Pos: 5752, Indonesia

³⁾Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Veteran Bangun Nusantara Sukoharjo,

Jl. Letjen S. Humardani No.1 Jombor, Bendosari, Sukoharjo. Kode Pos: 5752, Indonesia

Email: iwan.ristanto@yahoo.com, suprptodd2@gmail.com, tantinsipil@gmail.com

ABSTRAK

Indeks Desa Membangun (IDM) adalah perangkat indikator yang dikembangkan berdasarkan konsepsi kerangka kerja pembangunan infrastruktur desa. Penelitian ini menggunakan metode *Multivariate Analysis of Variance* (MANOVA) dua jalur dengan interaksi untuk memotret hubungan penilaian realisasi penggunaan Dana Desa (DD) dalam dimesi ekologi dan kemiskinan desa melalui pembangunan infrastruktur jalan desa, jembatan desa dan drainase jalan desa. Hasil interaksi hubungan penilaian infrastruktur, nilai $F = 10,303$ dengan $Sig. = 0,000 < \alpha = 0,05$, maka H_0 ditolak; Artinya faktor jenis infrastruktur. Dan interaksi hubungan status IDM, nilai $F = 77,975$ dengan $Sig. = 0,000 < \alpha = 0,05$, maka H_0 ditolak; Artinya faktor status IDM berpengaruh. Sedangkan interaksi antara jenis infrastruktur dan status IDM, nilai $F = 10,798$ dengan $Sig. = 0,000 < \alpha = 0,05$ maka H_0 ditolak; Artinya faktor Jenis Infrastruktur dan Status IDM berpengaruh terhadap penilaian perencanaan, pelaksanaan dan pengawasan infrastruktur desa.

Kata kunci: Desa, Interaksi, IDM, Infrastruktur, Penilaian, Pembangunan.

1. Pendahuluan

Penetapan Undang-Undang No. 6 Tahun 2014 oleh Pada tahun 2014 Pemerintah Republik Indonesia tentang Desa, adalah memberikan kewenangan desa dalam mengatur rumah tangganya sendiri, (DPR RI 2014). Pada tahun 2016 desa-desa Indonesia pada umumnya telah mendapatkan aliran Dana Desa (DD) yang terus meningkat dari tahun ke tahun, termasuk desa di Kabupaten Wonogiri, terdapat 299 desa yang juga mendapat alokasi Dana Desa (DD) dari pemerintah pusat. Perkembangan kemajuan desa diukur secara periodik oleh Kementerian Desa, PDT & Transmigrasi melalui pengukuran status Indeks Desa Membangun (IDM) dan rata-rata status IDM di Kabupaten Wonogiri adalah sebagai desa tertinggal, berkembang, dan maju. (BPS Wonogiri 2022).

Salah satu lumbung kemiskinan di Kabupaten Wonogiri berada di Kecamatan Kismantoro dan Kecamatan Tirtomoyo. Pada tabel 1 menunjukkan di Kecamatan Tirtomoyo terdapat 12 desa di yakni; Banyakprodo, Dlepih, Genengharjo, Girirejo, Hargosari, Hargantoro, Hargorejo, Sukoharjo, Sidorejo, Sendangmulyo, Tanjungsari, dan Wiroko, yang juga mendapatkan alokasi dana desa dengan tujuan untuk mengembangkan infrastruktur sarana prasarana di desa dalam rangka meningkatkan dimensi kemajuan lingkungan dan kesejahteraan desa, kemudian dapat diukur dengan peningkatan status desa, (BPS Wonogiri 2021). Pada tabel 1, data IDM desa di Kecamatan Tirtomoyo dengan status desa tertinggal adalah Desa Sidorejo, Desa Hargantoro &

Desa Hargosari dengan Basis Data Terpadu (BDT) KK Miskin terbanyak adalah Desa Sidorejo dengan jumlah 420 KK. (BPS Wonogiri 2022), sebagaimana pada tabel 2;

Tabel 1. Dana desa untuk kegiatan infrastuktur sarana prasarana desa di Kec. Tirtomoyo Tahun 2022

DESA	STATUS IDM DESA	DANA DESA	KEGIATAN SARPRAS	%
SIDOREJO	Tertinggal	Rp 1.057.385.000	Rp 698.685.600	66,1%
HARGANTORO	Tertinggal	Rp 991.377.000	Rp 285.000.000	28,7%
HARGOSARI	Tertinggal	Rp 1.157.385.000	Rp 848.000.000	73,3%
TANJUNGSARI	Berkembang	Rp 868.758.000	Rp 551.191.400	63,4%
HARGOREJO	Berkembang	Rp 991.337.000	Rp 867.442.000	87,5%
GIRIREJO	Berkembang	Rp 813.903.000	Rp 533.271.800	65,5%
BANYAKPRODO	Berkembang	Rp 842.410.000	Rp 530.000.000	62,9%
SENDANGMULYO	Berkembang	Rp 1.161.370.000	Rp 898.334.600	77,4%
DLEPIH	Berkembang	Rp 1.178.861.000	Rp 957.916.400	81,3%
WIROKO	Berkembang	Rp 820.357.000	Rp 479.784.200	58,5%
SUKOHARJO	Berkembang	Rp 946.077.000	Rp 739.777.000	78,2%
GENENGHARJO	Berkembang	Rp 864.599.000	Rp 498.984.080	57,7%
Jumlah		Rp 10.536.434.000	Rp 7.090.387.080	66,7%

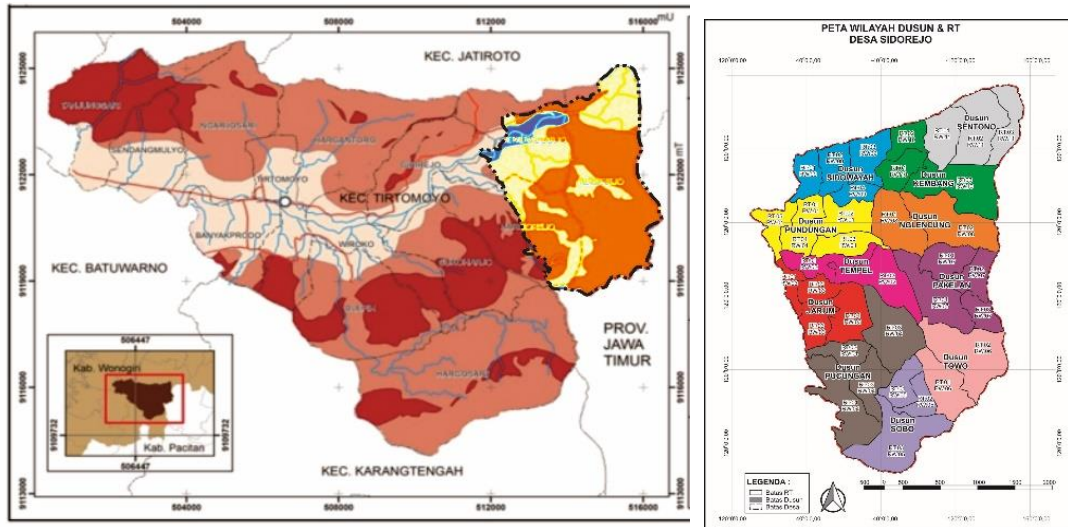
Sumber: IDM status desa & alokasi Dana Desa Kec. Tirtomoyo, 2022.

Tabel 2. Basis Data Terpadu (BDT) Penerima Beras untuk KK Miskin (Raskin) & Program Keluarga Harapan (PKH) Kec. Tirtomoyo Tahun 2022

DESA	BDT PENERIMA RASKIN 2019	PKH MEI 2019	PKH AGT 2019
SIDOREJO	420	260	235
HARGANTORO	400	258	217
DLEPIH	375	203	188
HARGOSARI	345	210	197
TIRTOMOYO	340	225	199
HARGOREJO	308	191	168
GENENGHARJO	282	165	148
SENDANGMULYO	270	155	128
SUKOHARJO	245	138	125
NGARJOSARI	240	142	129
BANYAKPRODO	228	118	107
WIROKO	198	104	86
TANJUNGSARI	177	101	94
GIRIREJO	145	83	74

Sumber: BDT KK Miskin Kec. Tirtomoyo, 2022.

Data BDT KK Miskin diketahui Desa Sidorejo merupakan desa dengan tingkat kemiskinan tertinggi di Kecamatan Tirtomoyo, Wonogiri yakni 420KK Miskin. Sedangkan Desa Sidorejo mendapatkan alokasi Dana Desa (DD) sebesar Rp.1.057.385.000,- pada tahun 2022. Namun alokasi secara umum atau 66,1% lebih banyak diprioritaskan pembangunan infrastruktur statis, diantaranya; jalan desa, jembatan desa, saluran drainase, talud penahan tanah, sedangkan infrastruktur dinamis, pembangunan ekonomi, dan pemberdayaan masyarakat memiliki porsi yang lebih sedikit <5% (kurang dari). Berikut ini adalah peta wilayah Kecamatan Tirtomoyo dan Desa Sidorejo.



Gambar 1. Peta Kecamatan Tirtomoyo (kiri), Peta Desa Sidorejo (kanan).

Penelitian ini bertujuan memotret interaksi hubungan perkembangan kemandirian Desa berdasarkan Indeks Desa Membangun (IDM) implementasi Undang-Undang Desa dengan dukungan penilaian realisasi penggunaan Dana Desa (DD) dalam pembangunan jalan desa, jembatan desa dan drainase jalan desa.

2. Metode

Penelitian ini menggunakan metode *Multivariate Analysis of Variance (MANOVA)* dua jalur dengan interaksi untuk memotret hubungan penilaian realisasi penggunaan Dana Desa (DD) dalam dimensi ekologi dan kemiskinan desa melalui pembangunan infrastruktur jalan desa, jembatan desa dan drainase jalan desa, yang didasarkan pada penentuan IDM sesuai dengan Permendesa nomor 2 tahun 2016 tentang Indeks Desa Membangun (IDM) pada Oktober 2016, (Hajratul et al. 2019). Dengan menggunakan pendekatan yang berfokus pada kekuatan sosial, ekonomi, dan ekologi/lingkungan, IDM dapat digunakan sebagai pendekatan untuk pengentasan kemiskinan di sejumlah desa tertinggal dan meningkatkan menuju desa mandiri di Indonesia. Formulasi indek pembangunan regional mengukur seluruh dimensi pembangunan secara kuantitatif, dirancang untuk dapat menilai wilayah pada tingkat nasional, regional, dan lokal. Indeks ini juga memungkinkan strategi pembangunan berbasis kuantitatif perumusan dan pengembangan kebijakan.(Meyer dan Meyer 2016). Memvisualisasikan pola spasial tingkat pembangunan pedesaan di wilayah studi yang dikategorikan sebagai tipe defisiensi perkembangan yang dominan, komprehensif, atau terpolarisasi. (Luo et al. 2024). Eksplorasi komprehensif mengenai lanskap sosio-ekonomi pedesaan melalui kacamata analisis data tingkat lanjut dan teknik pengelompokan pembangunan pedesaan yang holistik bagi para pembuat kebijakan dalam menyusun kebijakan strategi adaptif dan tertarget yang menjawab kebutuhan spesifik dari beragam kelompok pedesaan. (Sha et al. 2024). Pembentukan model daerah pedesaan berdasarkan penilaian potensi pembangunan sosio-ekonomi mereka (IKS, IKE). (Kovshov et al. 2024).

Tabel 3. Kriteria Kategori Penilaian Indeks Desa Membangun (IDM)

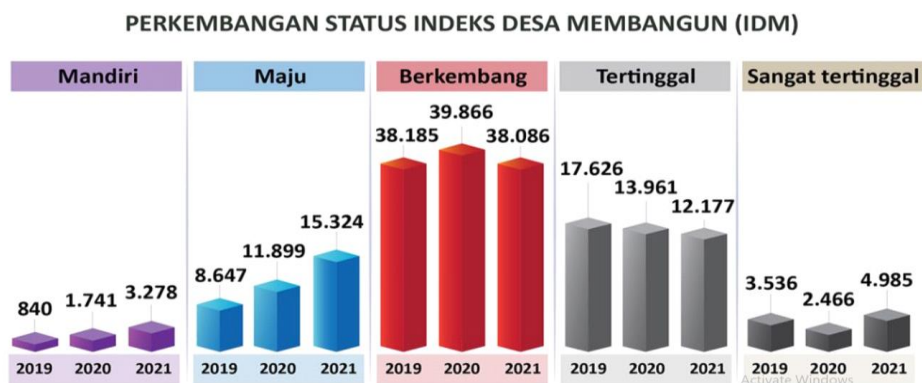
Potensi			Pengelolaan	Nilai IDM	Kategori
Sosial	Ekonomi	Lingkungan			
Ada	Ada	Ada	Mampu mengelola untuk peningkatan kesejahteraan masyarakat dan berkelanjutan	IDM > 0,8155	Mandiri

			tiap tahun		
Ada	Ada	Ada	Mampu mengelola dengan baik untuk kesejahteraan masyarakat	$0,7072 < \text{IDM} \leq 0,8155$	Maju
Ada	Ada	Ada	Belum dikelola secara optimal untuk kesejahteraan masyarakat	$0,5989 < \text{IDM} \leq 0,7072$	Berkembang
Ada	Ada	Ada	Belum atau kurang dikelola dan masih banyak yang miskin	$0,4907 < \text{IDM} \leq 0,5989$	Tertinggal
Rentan	Rentan	Rentan	Tidak mampu mengelola	$\text{IDM} \leq 0,4907$	Sangat Tertinggal

(Sumber; Kemendesa, 2016)

IDM mengklasifikasi status kemajuan dan kemandirian desa sesuai Pasal 19 (1) Permendesa PDT & Transmigrasi Nomor 2 Tahun 2016, dengan 5 (lima) status; 1) Desa Mandiri (atau bisa disebut sebagai Desa Sembada), 2) Desa Maju (atau bisa disebut sebagai Desa Pra-Sembada), 3) Desa Berkembang (atau bisa disebut sebagai Desa Madya), 4) Desa Tertinggal (atau bisa disebut sebagai Desa Pra-Madya) dan 6) Desa Sangat Tertinggal (atau bisa disebut sebagai Desa Pratama). Klasifikasi tersebut untuk mempertajam penetapan status perkembangan desa sekaligus sebagai rujukan intervensi kebijakan. Berikut di bawah ini adalah tabel kriteria penilaian IDM.

Status penilaian IDM Desa menggunakan tiga aspek penilaian yakni; penilaian terhadap Indeks Ketahanan Sosial (IKS), Indeks Ketahanan Ekonomi (IKE) dan Indeks Ketahanan Lingkungan (IKL), berikut di bawah ini adalah gambaran perkembangan status IDM desa skala nasional. Berikut ini gambar 2. status IDM skala nasional tahun 2019-2022.



Gambar 2. Perkembangan IDM skala Nasional Tahun 2019-2022

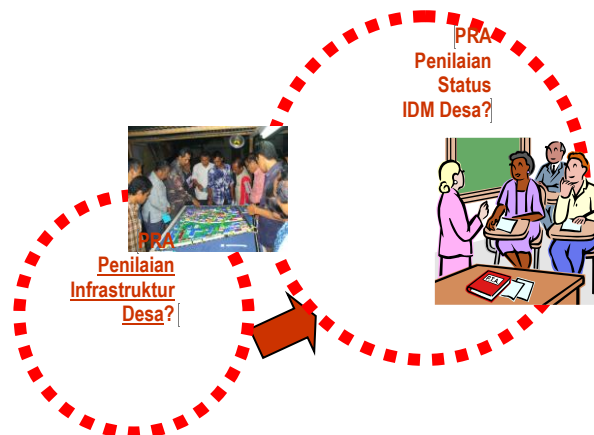
Sumber: <https://idm.kemendesa.go.id>

Sehingga pada studi kasus ini untuk mengetahui bagaimana interaksi hubungan penilaian infrastruktur dalam peningkatan dimensi ekologi & pengentasan kemiskinan menuju IDM desa mandiri berkelanjutan desa Sidorejo, Tirtomoyo, Wonogiri?. Untuk mengetahui seberapa tinggi status IDM desa di Kabupaten Wonogiri, kita harus memahami bagaimana kontribusi ketahanan sosial (IKS), ekonomi (IKE), dan lingkungan (IKL) terhadap desa-desa di Kabupaten Wonogiri.

Metode penilaian diadopsi dari UNDP untuk memperkirakan Indeks Development Index (RDI), dengan membuat perbandingan dari waktu ke waktu, data dan analisis. (Bedi dan Ramachandran 2008). Dan memvisualisasikan tingkat pembangunan infrastruktur pedesaan

yang dikategorikan sebagai tipe defisiensi perkembangan yang dominan, komprehensif, atau terpolarisasi di di desa Sidorejo, Kecamatan Tirtomoyo, Kab. Wonogiri.(Luo et al. 2024). Analisis berbagai elemen lingkungan, sosial, ekonomi, dan kelembagaan, termasuk elemen lingkungan, sosial, dan ekonomi. Untuk memperbarui IDM, diperlukan analisis *Multivariate Analysis of Variance (MANOVA)* dalam mengklasifikasi interaksi yang terjadi pada pengujian dua jalur untuk mengindikasikan efek dari satu variabel independen terhadap variabel dependen. (Rosenblad, 2009)

Metode pendekatan terkait perkembangan IDM Kabupaten Wonogiri juga dilakukan secara partisipatif masyarakat (*partisipatif rural appraisal/PRA*)(Ristanto, Widodo, dan Nayono 2024). Untuk lebih jelas gambaran kerangka metode penelitian pada gambar di bawah ini:



Gambar 3. Kerangka kegiatan analisis growth index dengan metode *Partisipatif Rural Appraisal /PRA* Berbasis data statistik kelompok status IDM desa di kabupaten Wonogiri

Analisis penilaian terhadap hubungan nilai status IDM Desa dengan penilaian infrastruktur desa dilakukan dengan tahapan, menentukan Hipotesis (H_0) dan Hipotesis (H_1), menentukan Taraf Signifikansi (α), melakukan Uji Statistik, menentukan kriteria keputusan, melakukan perhitungan dan kesimpulan, (Rosenblad 2009). Untuk lebih jelas dalam analisis data sebagai berikut:

- a). Pengaruh Utama Faktor 1 (Penilaian IDM)

Hipotesis:

$H_0 : \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 0$ (Faktor Status Desa tidak berpengaruh terhadap hubungan penilaian infrastruktur jalan desa, jembatan desa dan drainase desa)

$H_1 : \exists \alpha_i \neq 0, \quad i = 1, 2, 3$ (Faktor Status Desa berpengaruh terhadap hubungan penilaian infrastruktur jalan desa, jembatan desa dan drainase desa)

Taraf Signifikansi : $\alpha = 0.05$

- b). Pengaruh Utama Faktor 2 (Penilaian Infrastruktur Desa)

Hipotesis:

$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = 0$ (Faktor infrastruktur desa tidak berpengaruh terhadap penilaian kemampuan dalam perencanaan, kemampuan dalam pelaksanaan dan kemampuan dalam pengawasan pembangunan)

$H_1 : \exists \beta_i \neq 0, i = 1, 2$ (Faktor infrastruktur desa berpengaruh terhadap penilaian kemampuan dalam perencanaan, kemampuan dalam pelaksanaan dan kemampuan dalam pengawasan pembangunan)

Taraf Signifikansi : $\alpha = 0.05$

3. Hasil dan Pembahasan

Penggunaan Dana Desa (DD) secara umum desa di kecamatan Tirtomoyo lebih banyak Pada penilaian infrastruktur desa pada bangunan yang terdiri dari; bangunan jalan desa (A1), bangunan jembatan desa (A2), dan bangunan drainase desa (A2) dilaksanakan berdasarkan kriteria Indeks Desa Membangun (IDM) di Kecamatan Tirtomoyo, Kab. Wonogiri, yakni; B1) Desa Sidorejo dengan status IDM desa Berkembang dan B2) Desa Hargorejo dengan status IDM desa Maju. penilaian ini dilakukan oleh 10 (sepuluh) orang dengan masing-masing melakukan penilaian infrastruktur desa dengan 3 (tiga) aspek penilaian yakni; X1) Aspek Perencanaan RAB, X2) Aspek Pelaksanaan Pembangunan, dan X3) Aspek Pengawasan Pembangunan, kemudian pada setiap penilaian jenis infrastruktur bangunan desa dilakukan analisis interaksi hubungan untuk membuktikan apakah terdapat perbedaan antara status IDM desa dengan hasil penilaian infrastruktur bangunan jalan desa.

a. Data Infrastruktur

Berikut ini adalah salah satu penggunaan anggaran Dana Desa (DD) di desa Sidorejo, di mana variabel penilaian infrastruktur yang dinilai adalah pembangun jalan, jembatan dan drainase yang memiliki porsi dominan dalam pembangunan desa.

Tabel 4. Realisasi Penggunaan Dana Desa Sidorejo, Kec. Tirtomoyo

NO	URAIAN	ANGGARAN(Rp)	(%)
1	Pembangunan Jalan Desa	373.685.400	35%
2	Pembangunan Sarana Sanitasi dan Kebersihan Lingkungan	130.000.000	12%
3	Pembangunan Saluran Drainase	325.000.000	31%
4	Pembangunan Talud	188.509.600	18%
5	Bidang Pembinaan Kemasyarakatan	11.038.000	1%
6	Bidang Pemberdayaan Masyarakat	29.152.000	3%
	Jumlah	1.057.385.000	100%

Sumber: APBDES Desa Sidorejo, Kec. Tirtomoyo, 2022.

b. Data IDM Desa

Berikut ini adalah hasil penilaian Indeks Desa Membangun (IDM) Desa di Kecamatan Tirtomoyo dalam konteks dimensi ketahanan sosial, ekonomi, dan ekologi/lingkungan, sebagaimana data diketahui hanya terdapat 2 kategori status desa di kecamatan Tirtomoyo, yakni; Desa Berkembang dan Desa Maju yang akan dilakukan analisis interaksi hubungan penilaian dengan pengembangan infrastruktur desanya.

Table 5. Penilaian status IDM desa berdasarkan IKS, IKE, IKL di Kec.Tirtomoyo, Wonogiri, 2022

NAMA DESA	Indeks Ketahanan Sosial (IKS)	Indeks Ketahanan Ekonomi (IKE)	Indeks Ketahanan Lingkungan (IKL)	INDEKS IDM	STATUS DESA
SIDOREJO	0,8057	0,6667	0,5333	0,6686	Berkembang
HARGANTORO	0,8343	0,6500	0,6000	0,6948	Berkembang
HARGOSARI	0,6857	0,6000	0,6000	0,6286	Berkembang
TANJUNGSARI	0,7943	0,5333	0,5333	0,6203	Berkembang

HARGOREJO	0,7714	0,7667	0,6000	0,7127	Maju
GIRIREJO	0,7257	0,5333	0,8000	0,6863	Berkembang
BANYAKPRODO	0,8286	0,6000	0,7333	0,7206	Maju
SENDANGMULYO	0,8057	0,6000	0,5333	0,6463	Berkembang
DLEPIH	0,7029	0,6000	0,6000	0,6343	Berkembang
WIROKO	0,8686	0,5667	0,8000	0,7451	Maju
SUKOHARJO	0,8286	0,7167	0,6000	0,7151	Maju
GENENGHARJO	0,7771	0,5833	0,5333	0,6312	Berkembang

Sumber: <https://idm.kemendesa.go.id>



Gambar 4. Dokumentasi Kegiatan Pelatihan TPK Penilaian Mutu Jalan Desa

c. Data hasil penilaian TPK

Hasil penilaian infrastruktur desa pada 3 (tiga) aspek penilaian yakni; Aspek Perencanaan RAB, Aspek Pelaksanaan Pembangunan, dan Aspek Pengawasan Pembangunan, pada setiap jenis infrastruktur bangunan desa berupa jalan, jembatan dan drainase desa.

Tabel 6. Data hasil penilaian infrastruktur desa oleh TPK desa di Kec. Tirtomoyo, Wonogiri,

Faktor 1 (Status Desa)	Faktor 2 (Penilaian Infrastruktur)								
	Bangunan Jalan Desa (A1)			Bangunan Jembatan Desa (A2)			Bangunan Drainase Desa (A3)		
	X1	X2	X3	X1	X2	X3	X1	X2	X3
B1. DESA SIDOREJO (Desa Berkembang)	70	64	70	77	74	74	75	72	72
	70	71	71	75	80	80	77	73	73
	71	74	71	75	73	76	79	71	80
	70	74	74	75	77	77	73	73	73
	72	71	72	74	75	74	67	75	67
	73	70	70	75	75	75	75	72	72
	71	74	71	79	78	79	78	75	78
	65	72	72	85	82	82	74	80	80
	70	73	70	75	78	75	72	70	72
	71	71	71	76	77	76	71	73	71
B2. DESA HARGOREJO (Desa Maju)	83	83	83	85	86	85	84	81	84
	85	85	85	82	85	85	85	84	84
	85	88	85	83	87	83	84	88	84
	90	87	87	83	84	84	83	85	85
	83	84	83	88	83	88	84	90	84
	85	82	82	85	89	89	83	84	84
	88	83	88	83	90	83	82	87	82
	90	82	82	95	83	83	95	85	85
	84	81	84	82	88	82	82	82	82
	84	84	84	84	85	85	82	81	82

Sumber: Analisis Data, 2024

Ket:

Faktor 1

- B1 | Desa dengan status BERKEMBANG
- B2 | Desa dengan status MAJU

Faktor 2

- A1 | Bangunan Jalan Desa
- A2 | Bangunan Jembatan Desa
- A3 | Bangunan Drainase Desa

Faktor 3

- X1 | Perencanaan Bangunan
- X2 | Pelaksanaan Bangunan
- X3 | Pengawasan Bangunan

Tabel 7. Rerata hasil penilaian infrastruktur desa oleh TPK desa berdasarkan status desa

Faktor Status Desa	Faktor 2 (Jenis Infrastruktur)									Rata-rata baris		
	Bangunan Jalan Desa (A1)			Bangunan Jembatan Desa (A1)			Bangunan Drainase Desa (A1)					
	X1	X2	X3	X1	X2	X3	X1	X2	X3	X1	X2	X3
B1	70,30	71,40	71,20	76,60	76,90	76,80	74,10	73,40	73,80	73,67	73,90	73,93
B2	85,70	83,90	84,30	85,00	86,00	84,70	84,40	84,70	83,60	85,03	84,87	84,20
Rerata	78,00	77,65	77,75	80,80	81,45	80,75	79,25	79,05	78,70	79,35	79,38	79,07

Sumber: Analisis Data, 2024



Gambar 5. Penilaian realisasi kegiatan pembangunan jembatan dan drainase desa

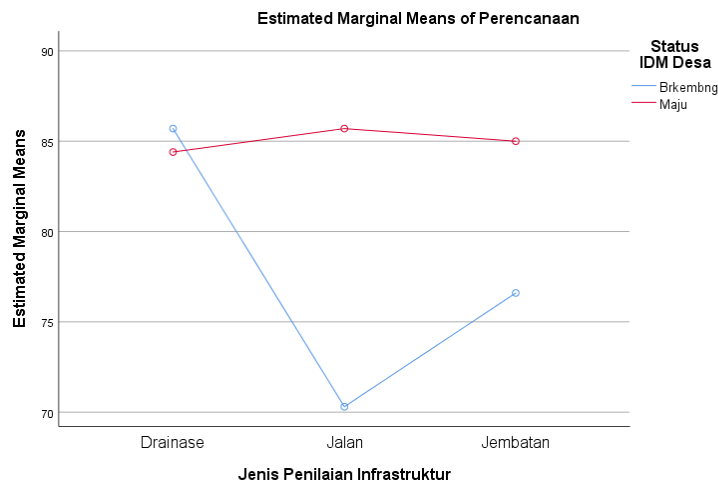
d. Hasil Input Data

Berikut ini adalah hasil analisis dan pengolahan data menggunakan program SPSS interaksi hubungan penilaian dengan pengembangan infrastruktur desa dengan status desanya masing-masing pada kategori desa berkembang dan desa maju di kecamatan Tirtomoyo

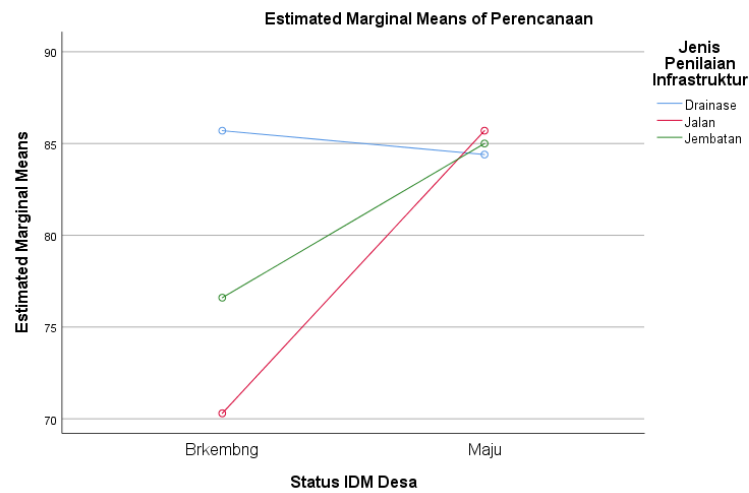
e. Grafik Interaksi Hubungan Antar Faktor

Berikut ini adalah grafik hasil pengolahan data menggunakan program SPSS interaksi hubungan penilaian dengan pengembangan infrastruktur desa dengan status desanya masing-masing pada kategori desa berkembang dan desa maju di kecamatan Tirtomoyo, dengan hasil sebagai berikut;

Pada grafik penilaian pada tahap perencanaan (RAB) pembangunan infrastruktur desa diketahui terdapat hubungan *pengaruh* antara penilaian bangunan jalan, jembatan dan pengawasan dengan status IDM desa.

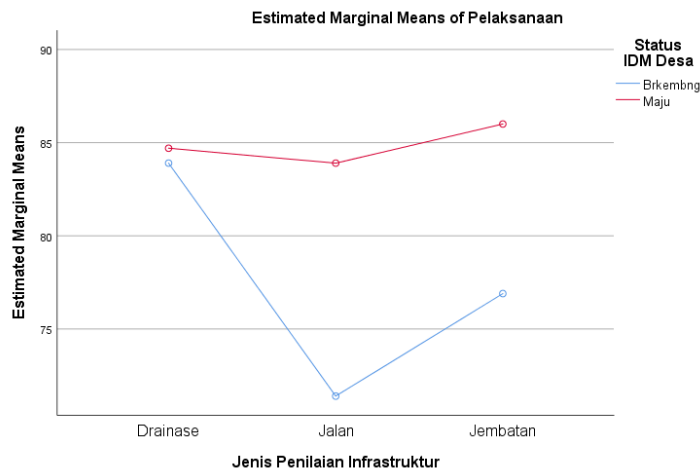


Gambar 6. Penilaian dalam perencanaan terhadap status IDM Desa

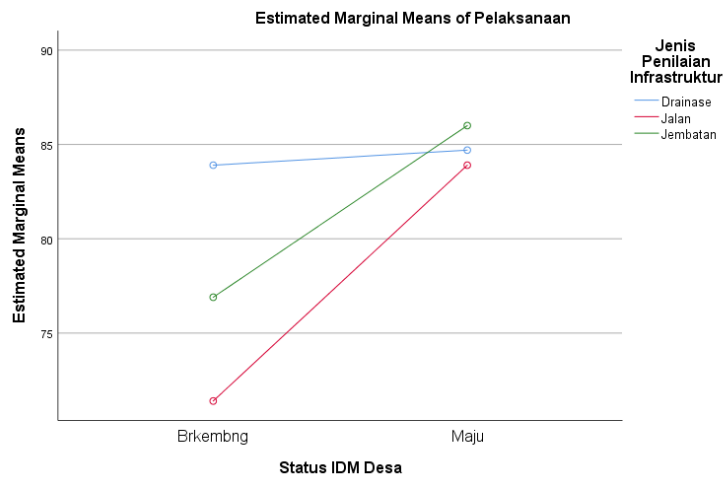


Gambar 7. Penilaian perencanaan terhadap dalam pembangunan infrastruktur drainase, jalan & jembatan

Pada tahap perencanaan; Grafik di atas menunjukkan terdapat *pengaruh* status IDM desa maju penilaian rerata yang lebih tinggi dalam pembangunan drainase, jalan dan jembatan, dibandingkan desa berkembang yang memiliki penilaian rendah pada pembangunan jalan dan jembatan.

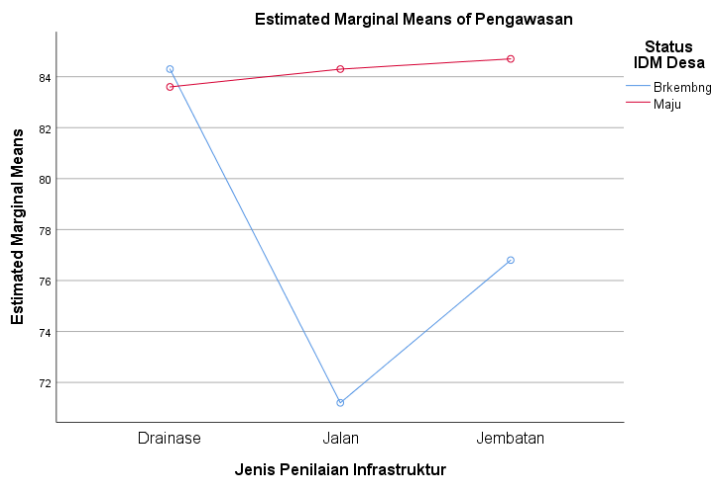


Gambar 8. Penilaian dalam pelaksanaan terhadap status IDM Desa

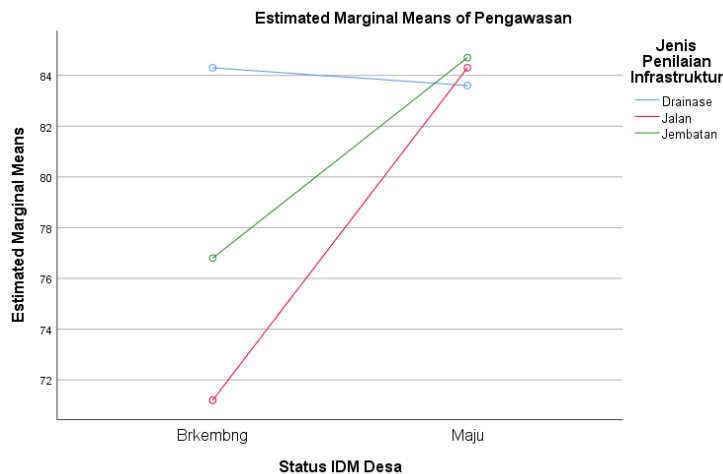


Gambar 9. Penilaian pelaksanaan terhadap dalam pembangunan infrastruktur drainase, jalan & jembatan

Pada tahap pelaksanaan; Grafik di atas menunjukkan terdapat *pengaruh* status IDM desa maju penilaian rerata yang lebih tinggi dalam pembangunan drainase, jalan dan jembatan, dibandingkan desa berkembang yang memiliki penilaian rendah pada pembangunan jalan dan jembatan



Gambar 10. Penilaian dalam pengawasan terhadap status IDM Desa



Gambar 11. Penilaian pengawasan terhadap dalam pembangunan infrastruktur drainase, jalan & jembatan

Pada tahap pengawasan; Grafik di atas menunjukkan terdapat *pengaruh* status IDM desa maju penilaian rerata yang lebih tinggi dalam pembangunan drainase, jalan dan jembatan, dibandingkan desa berkembang yang memiliki penilaian rendah pada pembangunan jalan dan jembatan.

4. Simpulan

Kesimpulan hasil penilaian tahap perencanaan, pelaksanaan dan pengawasan pembangunan status IDM Desa berpengaruh pada jenis pembangunan infrastruktur drainase, jalan & jembatan desa. Dalam hal ini desa maju memiliki rerata nilai lebih tinggi pada ketiga jenis infrastruktur yang dibangun sedangkan desa berkembang memiliki nilai rendah pada aspek pembangunan infrastruktur jalan dan jembatan desa.

Daftar Pustaka

- Bedi, Jatinder S., dan H. Ramachandran. 2008. "Human Development Index for Rural Andhra Pradesh." National Council of Applied Economic Research, no. 99. <http://www.ncaer.org/Downloads/WorkingPapers/WP99.pdf>.
- BPS Wonogiri. 2021. "Kecamatan Tirtomoyo Dalam Angka 2021." BPS. <https://wonogirikab.bps.go.id/publication/2021/09/24/7185113c176c5b058be76850/kecamatan-tirtomoyo-dalam-angka-2021.html>.
- . 2022. "Kabupaten Wonogiri Dalam Angka 2022."
- DPR RI. 2014. "Undang - Undang No.6 Tahun 2014 tentang Desa." https://www.dpr.go.id/dokjdih/document/uu/UU_2014_6.pdf.
- Hajratul, Denny Muhammad, Nana Novita Pratiwi, Erni Yuniarti, Desa Jeruju Besar, Kecamatan Sungai, Kakap Kabupaten, dan Kubu Raya. 2019. "ANALISIS INDEKS DESA MEMBANGUN DESA JERUJU BESAR."
- Kovshov, Vitaliy, Milyausha Lukyanova, Zariya Zalilova, Oksana Frolova, dan Zagir Galin. 2024. "International regional competitiveness of rural territories as a factor of their socio-economic development: Methodological aspects." *Heliyon* 10 (1): e23795. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e23795>.
- Luo, Yun, Chunxia Liu, Yuechen Li, Xianfeng Jin, Zhiming He, dan Qi Chen. 2024. "Evaluation of rural vitality and development types in mountainous areas of southwestern China: A case study of Wuxi County, Chongqing." *Heliyon* 10 (5): e27660. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e27660>.
- Meyer, D F, dan N Meyer. 2016. "INDEX" 8 (1): 100–116.
- Ristante, Iwan, Slamet Widodo, dan Satoto Endar Nayono. 2024. "A Green Infrastructure SDGS Num 11: Approach Planning Design Model Reliability of Permeability and Concrete Quality Rural Roads P3MD Program in Wonogiri" 03042 (6).
- Rosenblad, Andreas. 2009. *Applied Multivariate Statistics for the Social Sciences, Fifth Edition* by James P. Stevens. *International Statistical Review*. Vol. 77. https://doi.org/10.1111/j.1751-5823.2009.00095_13.x.
- Sha, Akhbar, S Madhan, Moturi Karthikeya, Megha R, Dhruvjyoti Swain, dan G. Gopakumar. 2024. "Data-Driven Clustering and Insights for Rural Development in India." *Procedia Computer Science* 233: 336–42. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.03.223>.

Pemanfaatan Serat Kapuk Randu Sebagai *Filler* Pada Pembuatan *Acoustic Board* Berstruktur *Sandwich*

Nadya Indah Arifin^{*1)}, R Hari Setyanto²⁾, dan Taufiq Rochman³⁾

^{1*,2,3)}Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami No. 36A
Kientangan, Surakarta, 57126, Indonesia

Email: nandyaindah8@student.uns.ac.id, setyanto@staff.uns.ac.id, taufiqrochman@staff.uns.ac.id

ABSTRAK

Green building atau bangunan ramah lingkungan memiliki peran penting dalam mengurangi dampak pemanasan global. Selain fokus pada efisiensi energi dan pengelolaan limbah, konsep bangunan ramah lingkungan juga memperhatikan penggunaan material bahan bangunan yang ramah lingkungan untuk keberlanjutan lingkungan baik jangka pendek maupun jangka panjang. Terkait dengan konsep bangunan ramah lingkungan (*green building*), maka diperlukan adanya inovasi produk dengan memanfaatkan material alam yang ada untuk menggantikan penggunaan material sintetis yang memiliki dampak negatif bagi lingkungan. Peredam suara pada bangunan adalah salah satu produk yang terdapat di pasaran dan bahan baku umumnya berasal dari bahan sintetis. Pengendalian kebisingan pada bangunan umumnya menggunakan peredam suara berupa *acoustic board* yang diaplikasikan menjadi dinding, plafon, dan sebagainya. Untuk dapat mengatasi permasalahan tersebut, maka dilakukan sebuah penelitian untuk menghasilkan sebuah inovasi produk *acoustic board* dengan bahan serat alam yang lebih ramah lingkungan dengan memanfaatkan serat kapuk randu sehingga dapat menjadi alternatif pengganti bahan sintesis.

Kata kunci: *Acoustic Board*, *Green Building*, Serat Kapuk Randu

1. Pendahuluan

Isu pemanasan global menjadi topik hangat di seluruh dunia. Pemanasan global merujuk pada peningkatan suhu di permukaan bumi akibat peningkatan efek rumah kaca. Peningkatan suhu global yang disebabkan oleh emisi gas rumah kaca, diyakini sebagai akibat dari aktivitas pembangunan. Proses konstruksi mulai dari tahap pelaksanaan, pembangunan sampai bangunan tersebut bisa dimanfaatkan, dianggap dapat menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan hidup di sekitar bangunan tersebut. Maka dari itu, fenomena *global warming* harus segera diantisipasi. Sebuah langkah yang bisa diambil untuk menghindari hal tersebut adalah dengan menerapkan pembangunan yang berkesinambungan (*sustainable development*) (Dianita, 2014).

Pembangunan yang berkesinambungan dimaksudkan untuk memenuhi kebutuhan sekarang tanpa mengurangi atau merusak kemampuan generasi mendatang dalam memenuhi kebutuhan mereka. Implementasi dari konsep pembangunan berkelanjutan adalah melalui konstruksi berkelanjutan. Salah satu contoh dari konstruksi berkelanjutan yang mudah diimplementasikan adalah bangunan ramah lingkungan (*green building*).

Green building, atau bangunan yang ramah lingkungan, memiliki peran dalam mengurangi laju pemanasan global. Bangunan ramah lingkungan adalah bentuk kepedulian terhadap keberlanjutan lingkungan dalam industri konstruksi. Bangunan ramah lingkungan didesain untuk mengurangi dampak keseluruhan pembangunan terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. Selain berkaitan dengan manajemen penghematan energi dan pengelolaan limbah, bangunan ramah lingkungan juga memperhatikan bagaimana material bangunan tersebut tidak merugikan lingkungan, baik dalam jangka pendek maupun panjang (Dianita, 2014). Pemilihan material untuk bangunan memiliki peran penting dalam mencapai tujuan hemat energi dan ramah lingkungan. Oleh karena itu, pemilihan material bangunan sama pentingnya dengan desain bangunan itu sendiri. Pemilihan bahan yang sesuai akan meningkatkan aspek keindahan pada struktur bangunan serta menciptakan bangunan yang berkualitas. Dalam konteks bangunan

ramah lingkungan, pemilihan material yang tepat adalah material hijau atau material yang ramah lingkungan. Dengan menggunakan material yang ramah lingkungan, akan tercipta bangunan yang berkualitas dan berkelanjutan untuk lingkungan sekitar.

Terkait dengan konsep bangunan ramah lingkungan (*green building*), maka diperlukan adanya inovasi produk dengan memanfaatkan material alam yang ada untuk menggantikan penggunaan material sintetis yang tidak ramah lingkungan pada bangunan. Salah satu material yang sering dijumpai di pasaran dan umumnya terbuat dari bahan sintetis adalah peredam suara. Pengendalian kebisingan pada bangunan umumnya menggunakan peredam suara berupa *acoustic board* yang diaplikasikan menjadi dinding, plafon, dan sebagainya. *Acoustic board* memiliki fungsi mereduksi kebisingan agar bunyi tidak merambat keluar maupun masuk ke dalam ruangan. Bahan peredam suara yang umumnya digunakan pada bangunan berasal dari bahan sintetis seperti *soft plester*, *glass wool*, dan sebagainya (Muhammad Munir et al., 2015). Bahan sintetis tersebut memiliki sifat akustik yang baik, namun sebagian besar berasal dari luar negeri dan dapat menimbulkan dampak buruk bagi lingkungan, karena tidak dapat diuraikan secara alami dan berpotensi merugikan generasi mendatang (Islam et al., 2018).

Untuk mengatasi hal tersebut, material berbasis serat alam mulai dikembangkan untuk menggantikan bahan sintetis yang ada (Kusmiran dkk., 2019). Material berbasis serat alam memiliki banyak keunggulan termasuk koefisien penyerapan suara yang tinggi, ramah lingkungan, dapat terurai secara hayati, ketersediaan yang melimpah, biaya rendah, dan kemudahan dalam proses pembuatannya (Gokulkumar dkk., 2020).

2. Metode

Metodologi Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimen faktorial. Eksperimen faktorial digunakan untuk meneliti interaksi antara tiga variabel independen yang berbeda. Dengan menggunakan metode eksperimen faktorial, peneliti dapat menguji beberapa hipotesis dalam satu eksperimen, sehingga menghemat waktu dan sumber daya daripada melakukan eksperimen terpisah. Ada tiga faktor yang digunakan sebagai variabel independen dalam penelitian ini, yaitu ketebalan rongga resonator, diameter leher resonator, dan volume isian. Variabel dependen dalam studi ini adalah nilai *decibel drop*.

Penentuan Jumlah Observasi

Jumlah observasi yang dilakukan dalam penelitian ini ditentukan melalui faktor yang mempengaruhi uji serap bunyi. Variabel tersebut diuraikan sebagai berikut.

a. Variabel *Dependent*

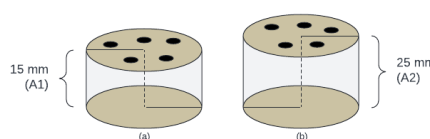
- 1) Variabel respon : nilai *decibel drop*
- 2) Unit spesimen : 8 spesimen uji serap bunyi dengan 5 replikasi

b. *Restrictions* (Faktor Pembatas)

- 1) Faktor ketebalan *skin* resonator berbahan papan triplek, yaitu sebesar 6 mm

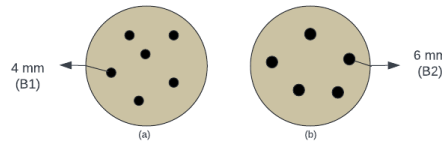
c. Variabel *Independent*

- 1) Faktor ketebalan rongga resonator (A) yang terdiri dari dua tingkat, yaitu:



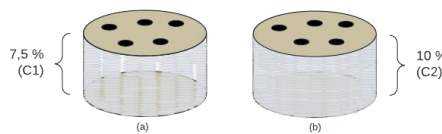
Gambar 1. Faktor Ketebalan Rongga Resonator

- a) Ketebalan rongga resonator 15 mm (A1)
 - b) Ketebalan rongga resonator 25 mm (A2)
- 2) Faktor diameter leher resonator (B) yang terdiri dari dua tingkat, yaitu:



Gambar 2. Faktor Diameter Leher Resonator

- a) Leher resonator dengan diameter 4 mm (B1)
 - b) Leher resonator dengan diameter 6 mm (B2)
- 3) Faktor volume isian (C) yang terdiri dari dua tingkat, yaitu:



Gambar 3. Faktor Volume Isian

- a) Volume isian sebesar 7,5% (C1)
- b) Volume isian sebesar 10% (C2)

Setelah variabel-variabel yang terlibat dalam penelitian teridentifikasi, selanjutnya dilakukan penentuan *layout* eksperimen. Variabel *independent* pada penelitian ini dilakukan replikasi sebanyak 5 kali. Sehingga, *layout* eksperimen dapat disajikan melalui Tabel 1.

Tabel 1. *Layout* Eksperimen Pembuatan Spesimen Uji Serap Bunyi

Ketebalan Rongga Resonator (A)	Diameter Leher Resonator (B)	Replikasi	Volume Isian (C)	
			7,5% (C1)	10% (C2)
15 mm (A1)	4 mm (B1)	1	Y1111	Y1121
		2	Y1112	Y1122
		3	Y1113	Y1123
		4	Y1114	Y1124
		5	Y1115	Y1125
	6 mm (B2)	1	Y1211	Y1221
		2	Y1212	Y1222
		3	Y1213	Y1223
		4	Y1214	Y1224
		5	Y1215	Y1225
25 mm (A2)	4 mm (B1)	1	Y2111	Y2121
		2	Y2112	Y2122
		3	Y2113	Y2123
		4	Y2114	Y2124
		5	Y2115	Y2125
	6 mm (B2)	1	Y2211	Y2221
		2	Y2212	Y2222
		3	Y2213	Y2223
		4	Y2214	Y2224
		5	Y2215	Y2225

Keterangan: Y₁₁₁₁ merupakan spesimen pengujian untuk ketebalan rongga resonator 15 mm, diameter leher resonator 4 mm, dan volume isian sebesar 7,5%, pada pengulangan (replikasi) pertama.

Perumusan Hipotesis

Pada tahap ini dilakukan penentuan terhadap hipotesis eksperimen yang digunakan. Hipotesis eksperimen ditunjukkan sebagai berikut.

- a. H_{0A} : Perbedaan ketebalan rongga resonator tidak berpengaruh signifikan terhadap nilai *decibel drop*.
 H_{1A} : Perbedaan ketebalan rongga berpengaruh signifikan terhadap nilai *decibel drop*.
- b. H_{0B} : Perbedaan diameter leher resonator tidak berpengaruh signifikan terhadap nilai *decibel drop*.
 H_{1B} : Perbedaan diameter leher resonator berpengaruh signifikan terhadap nilai *decibel drop*.
- c. H_{0C} : Perbedaan volume isian tidak berpengaruh signifikan terhadap nilai *decibel drop*.
 H_{1C} : Perbedaan volume isian berpengaruh signifikan terhadap nilai *decibel drop*.
- d. H_{0AB} : Perbedaan ketebalan rongga resonator dan diameter leher resonator resonator tidak berpengaruh signifikan terhadap nilai *decibel drop*.
 H_{1AB} : Perbedaan ketebalan rongga resonator dan diameter leher resonator berpengaruh signifikan terhadap nilai *decibel drop*.
- e. H_{0AC} : Perbedaan ketebalan rongga resonator dan volume isian tidak berpengaruh signifikan terhadap nilai *decibel drop*.
 H_{1AC} : Perbedaan ketebalan rongga resonator dan volume isian berpengaruh signifikan terhadap nilai *decibel drop*.
- f. H_{0BC} : Perbedaan diameter leher resonator dan volume isian tidak berpengaruh signifikan terhadap nilai *decibel drop*.
 H_{1BC} : Perbedaan diameter leher resonator dan volume isian berpengaruh signifikan terhadap nilai *decibel drop*.
- g. H_{0ABC} : Perbedaan ketebalan rongga resonator, diameter leher resonator dan volume isian tidak berpengaruh signifikan terhadap nilai *decibel drop*.
 H_{1ABC} : Perbedaan ketebalan rongga resonator, diameter leher resonator dan volume isian berpengaruh signifikan terhadap nilai *decibel drop*.

Persiapan Alat dan Bahan

a. Alat

Berikut merupakan alat-alat yang digunakan dalam pembuatan spesimen.

Tabel 2. Alat Penunjang Penelitian

No.	Nama Alat	Keterangan
1.	<i>Hand Drill</i>	Alat ini digunakan membuat lubang pada leher <i>skin</i> resonator bagian atas
2.	Timbangan	Alat ini digunakan sebagai alat ukur berat dari bahan hingga dicapai nilai yang diinginkan
3.	Gerinda	Alat ini digunakan untuk menyesuaikan ukuran spesimen agar sesuai dengan ASTM E1050-98
4.	<i>Impedance Tube Bruel and kjaer tipe 4206 standar ASTM E1050-98</i>	Alat ini digunakan sebagai alat ukur koefisien serap bunyi yang nantinya akan mengukur koefisien dari masing-masing spesimen. Alat ini terdiri atas tabung impedansi B&K 4206, dua mikrofon B&K tipe 4187, separangkat, komputer dengan <i>Soft Pulse System</i> , generator B&K tipe 3160, dan amplifier B&K tipe 2716C

b. Bahan

Bahan penunjang penelitian yang digunakan

- i. Kapuk randu
- ii. Papan triplek
- iii. Plastik mika
- iv. Lem

Pembuatan Spesimen

Pada bagian ini menjelaskan mengenai proses pembuatan spesimen uji dari penelitian yang dilakukan. Spesimen berbahan dasar serat kapuk randu dan triplek. Eksperimen akan *running* 8 buah perlakuan dengan 5 replikasi pada setiap perlakuan. Berikut ini merupakan langkah-langkah pembuatan spesimen uji (ditunjukkan pada Gambar 11) dengan spesifikasi ketebalan rongga resonator 25 mm, diameter leher resonator sebesar 6 mm, volume isian sebesar 7,5% dan ketebalan *skin* resonator sebesar 6 mm:

1. Ukur kebutuhan kapuk randu untuk *filler* pada pembuatan spesimen menggunakan timbangan (volume isian sebesar 7,5%, ketebalan rongga resonator sebesar 25 mm, ukuran spesimen sebesar 10 cm, dengan densitas kapuk randu sebesar 0,348 gr/cm³, maka didapatkan kebutuhan kapuk randu untuk *filler* sebesar 2 gr).



Gambar 4. Pengukuran Berat *Filler* Serat Kapuk Randu

2. Mengamplas bagian *skin* berupa triplek yang sudah berbentuk lingkaran dengan ketebalan 6 mm menggunakan alat gerinda sehingga menjadi ukuran yang sesuai dengan standar ASTM E1050-98 yaitu sebuah lingkaran berdiameter sebesar 10 cm.



Gambar 5. Pengamplasan *Skin* Triplek

3. Membuat pola *binary* random pada *skin* resonator bagian atas secara manual menggunakan alat pensil



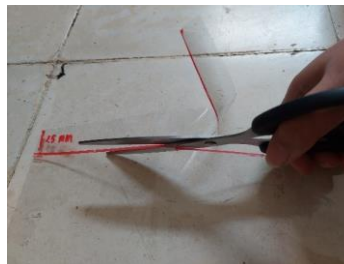
Gambar 6. Pembuatan Pola *Binary*

4. Kemudian membuat lubang berdiameter 6 mm pada leher *skin* resonator bagian atas yang sudah di gambar pola dengan menggunakan alat *hand drill*



Gambar 7. Pembuatan Lubang Pada *Skin* Resonator Bagian Atas

5. Membuat sekat rongga resonator dengan ketebalan 25 mm menggunakan plastik mika dengan alat gunting



Gambar 8. Pembuatan Sekat Rongga Resonator

6. Menyatukan 2 bagian yaitu *skin* resonator bagian bawah dan sekat rongga resonator menggunakan alat lem tembak



Gambar 9. *Assembly Skin* dan Sekat Rongga Resonator

7. Memasukkan *filler* serat kapuk randu ke dalam bagian sekat rongga resonator



Gambar 10. Memasukkan *Filler* ke Sekat Rongga Resonator

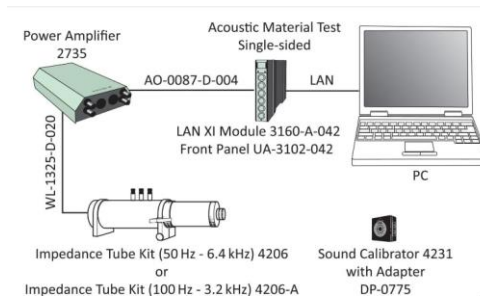
8. Menyatukan bagian *skin* resonator bagian atas dan *skin* resonator bagian bawah yang sudah diberi sekat rongga dan *filler* sehingga menjadi spesimen uji serap bunyi.



Gambar 11. Assembly Spesimen Uji Serap Bunyi

Pengujian Spesimen

Pada tahap ini dilakukan pengujian serap bunyi untuk mengetahui nilai koefisien serap bunyi dari masing-masing *treatment* yang berbeda. Pengujian dilakukan di Laboratorium *Iwany Acoustic Research Group* (iARG), Program Studi Fisika, Universitas Sebelas Maret. Prosedur pengujian serap bunyi dilakukan dengan standar ASTM E1050-98 menggunakan peralatan berupa tabung impedansi 2 mikrofon.



Gambar 12. Diagram Rangkaian Alat Ukur Koefisien Serap Bunyi

Langkah-langkah pengujian koefisien serap bunyi menggunakan tabung impedansi 2 mikrofon, sebagai berikut:

1. Mempersiapkan spesimen uji serap bunyi berbentuk lingkaran dengan ukuran diameter sebesar 10 cm.
2. Lepaskan pengunci pada tabung impedansi, lalu masukkan spesimen ke dalam tabung dan kunci tabung tersebut kembali.
3. Melakukan penyetingan dengan sumber suara. Sumber suara yang digunakan dalam pengujian ini adalah suara frekuensi acak pada rentang frekuensi 0 hingga 1600 Hz. Frekuensi acak ini dihasilkan oleh generator fungsi B&K 3160-A-042 dan diperkuat oleh amplifier B&K 2716C.
4. Melakukan uji spesimen menggunakan *software Pulse Labshop* melalui komputer. Sumber suara sebelum dan sesudah diserap oleh spesimen kemudian ditangkap dengan mikrofon B&K 4187, dan hasil penangkapan mikrofon ini dikirim ke penganalisis *Pulse* untuk diproses dan ditampilkan nilai koefisien penyerapan melalui komputer.

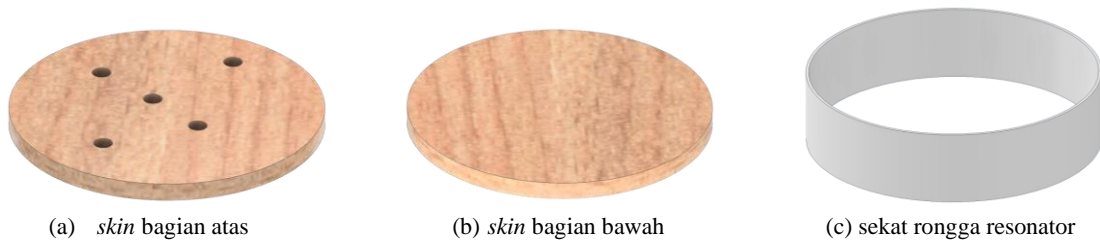
Pengolahan Data

Dalam penelitian ini, data yang didapatkan dari hasil pengujian akan di uji normalitas, uji homogenitas, uji independensi, uji ANOVA, dan uji pembandingan ganda menggunakan *software* Minitab 18. Setelah itu, data pengujian ini akan dilakukan analisis untuk menentukan variasi faktor yang memiliki pengaruh paling optimal terhadap nilai koefisien serap bunyi.

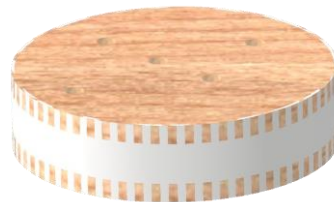
3. Hasil dan Pembahasan

Desain 2D Spesimen Uji Serap Bunyi

Spesimen *acoustic board* yang di buat dirancang dengan sistem *sandwich* terdiri dari tiga *layer*, yaitu *skin* bagian atas atau muka dari spesimen uji, sekat rongga resonator dan *skin* bagian bawah atau belakang. Variasi faktor yang diterapkan pada spesimen uji yaitu adanya sekat rongga resonator / ketebalan rongga resonator (A) sebesar 15 mm (A1) dan 25 mm (A2). Pada sekat rongga resonator diberikan penambahan *acoustic fill* serat kapuk randu (B) sebanyak 7,5 % (B1) dan 10 % (B2). Pada *skin* bagian atas atau muka diberi lubang (C) dengan diameter lubang sebesar 4 mm (C1) dan 6 mm (C2). Sehingga dengan adanya variasi tersebut diharapkan dapat melihat kinerja *acoustic board* isian serat kapuk randu terhadap nilai koefisien serap bunyi. Gambar desain spesimen *acoustic board* ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 13. Dimensi Bagian Spesimen *Acoustic Board*



Gambar 14. *Assembly* Spesimen *Acoustic Board*

Spesimen *acoustic board* dengan diameter 10 cm dipersiapkan sesuai dengan alat uji tabung impedansi dua mikrofon sesuai standar uji ASTM E1050 98.

Data Hasil Eksperimen

Hasil eksperimen menampilkan hasil pengukuran koefisien serap bunyi spesimen *acoustic board* yang diukur menggunakan alat uji serap bunyi metode tabung impedansi 2 mikrofon pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Hasil Eksperimen

Ketebalan Rongga Resonator		15 mm				25 mm				
Diameter Leher Resonator		4 mm		6 mm		4 mm		6 mm		
Volume Isian		7,5%	10%	7,5%	10%	7,5%	10%	7,5%	10%	
Replikasi Spesimen	1	200 Hz	0.203	0.169	0.187	0.181	0.397	0.299	0.337	0.368
		400 Hz	0.323	0.294	0.368	0.336	0.472	0.349	0.787	0.714
		800 Hz	0.221	0.199	0.294	0.362	0.166	0.146	0.339	0.334
		1600 Hz	0.134	0.137	0.191	0.188	0.100	0.124	0.175	0.202
	2	200 Hz	0.201	0.178	0.178	0.163	0.388	0.288	0.341	0.341
		400 Hz	0.324	0.280	0.376	0.352	0.467	0.363	0.762	0.742
		800 Hz	0.230	0.201	0.289	0.361	0.169	0.165	0.395	0.323
		1600 Hz	0.133	0.133	0.189	0.181	0.117	0.112	0.151	0.211
	3	200 Hz	0.211	0.173	0.178	0.178	0.368	0.238	0.348	0.319
		400 Hz	0.332	0.282	0.385	0.353	0.433	0.333	0.737	0.716
		800 Hz	0.223	0.192	0.298	0.378	0.176	0.175	0.381	0.342
		1600 Hz	0.111	0.161	0.167	0.167	0.167	0.166	0.170	0.247
	4	200 Hz	0.218	0.178	0.198	0.148	0.327	0.225	0.326	0.325
		400 Hz	0.318	0.278	0.388	0.358	0.457	0.327	0.738	0.725
		800 Hz	0.222	0.162	0.279	0.372	0.171	0.189	0.389	0.359
		1600 Hz	0.126	0.186	0.187	0.186	0.165	0.175	0.179	0.219
	5	200 Hz	0.222	0.168	0.168	0.166	0.356	0.244	0.354	0.324
		400 Hz	0.312	0.240	0.390	0.390	0.474	0.371	0.781	0.719
		800 Hz	0.219	0.189	0.291	0.331	0.131	0.131	0.331	0.331
		1600 Hz	0.119	0.199	0.199	0.189	0.179	0.178	0.178	0.238

Noise Reduction Coefficient (NRC)

Noise Reduction Coefficient (NRC) bisa dihitung dengan mencari rata-rata koefisien serap bunyi pada frekuensi 200 Hz, 400 Hz, 800 Hz, dan 1600 Hz.

Tabel 4. Hasil Perhitungan *Noise Reduction Coefficient (NRC)*

Ketebalan Rongga Resonator	Diameter Leher Resonator	Volume Isian	NRC				
			1	2	3	4	5
15 mm	4 mm	7.5%	0.220	0.222	0.219	0.221	0.218
		10.0%	0.200	0.198	0.202	0.201	0.199
	6 mm	7.5%	0.260	0.258	0.257	0.263	0.262
		10.0%	0.267	0.264	0.269	0.266	0.269
25 mm	4 mm	7.5%	0.284	0.285	0.286	0.280	0.285
		10.0%	0.230	0.232	0.228	0.229	0.231
	6 mm	7.5%	0.410	0.412	0.409	0.408	0.411
		10.0%	0.405	0.404	0.406	0.407	0.403

Decibel Drop

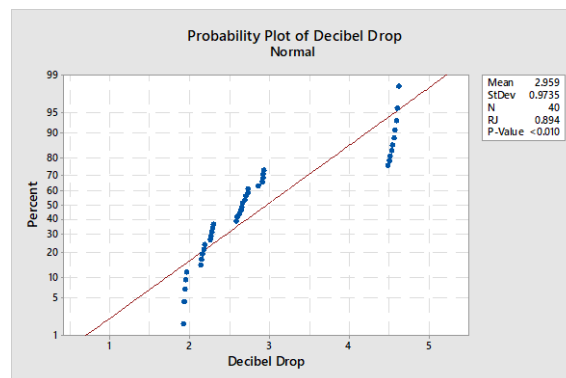
Decibel Drop dapat diperoleh dari data nilai NRC yang diolah menggunakan rumus.

Tabel 5. Hasil Perhitungan *Decibel Drop*

Ketebalan Rongga Resonator	Diameter Leher Resonator	Volume Isian	<i>Decibel Drop</i>				
			1	2	3	4	5
15 mm	4 mm	7.5%	2.158	2.180	2.146	2.170	2.136
		10%	1.938	1.916	1.960	1.950	1.928
	6 mm	7.5%	2.616	2.592	2.580	2.650	2.638
		10%	2.698	2.662	2.722	2.686	2.722
25 mm	4 mm	7.5%	2.902	2.914	2.926	2.854	2.914
		10%	2.270	2.292	2.248	2.258	2.282
	6 mm	7.5%	4.582	4.612	4.568	4.554	4.598
		10%	4.510	4.496	4.524	4.538	4.480

Uji Normalitas

Uji normalitas digunakan untuk mengecek apakah nilai *decibel drop* dari setiap perlakuan memiliki distribusi yang normal. Dalam penelitian ini, uji normalitas dilakukan menggunakan metode uji *Shapiro Wilk*.

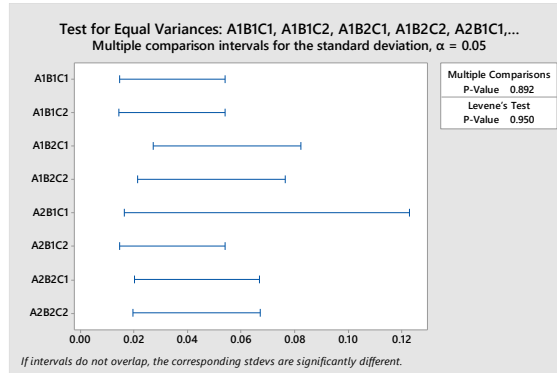


Gambar 15. Normal Probability Plot

Berdasarkan grafik di atas, dapat disimpulkan bahwa nilai *decibel drop* didistribusikan secara normal karena grafik yang menggambarkan data sebenarnya mengikuti pola garis diagonal.

Uji Homogenitas

Uji homogenitas dilakukan terhadap nilai *decibel drop* dengan metode *Bartlett*.

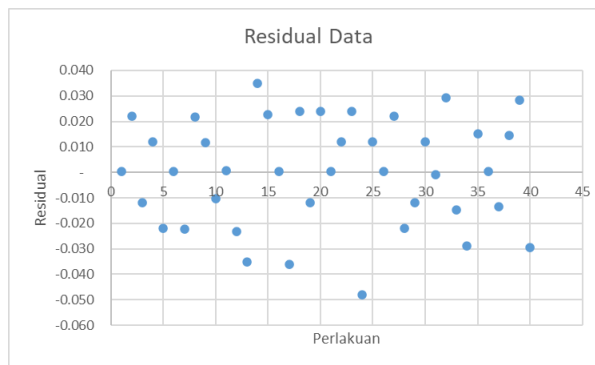


Gambar 16. Uji Homogenitas Bartlett

Berdasarkan diagram diatas, dapat diketahui bahwa nilai *decibel drop* dari setiap kelompok spesimen homogen. Nilai *decibel drop* dinyatakan homogen karena nilai *P-Value* > 0,05.

Uji Independensi

Uji independensi berguna untuk menentukan apakah ada perbedaan yang signifikan antara variabel dependen dan independen. Uji independensi dilakukan dengan membuat plot data nilai residual untuk setiap perlakuan eksperimen berdasarkan urutan pengambilan data.



Gambar 17. Uji Independensi

Dari grafik di atas, terlihat bahwa nilai residual dari *decibel drop* tersebar merata di sekitar garis nol tanpa membentuk pola khusus. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa data *decibel drop* dari setiap perlakuan memenuhi persyaratan independensi.

Uji ANOVA

Uji ANOVA ini dilakukan untuk dapat mengetahui faktor baik secara interaksi maupun secara independen berpengaruh signifikan terhadap nilai *decibel drop*. Uji ANOVA dilakukan setelah data *decibel drop* dinyatakan berdistribusi normal, homogen, dan independen.

Tabel 6. Uji ANOVA

Faktor	df	SS	MS	Fhit	Ftab	Keterangan
Perlakuan	7	36.943	5.278			
A	1	14.731	14.731	27728.941	4.15	Signifikan
B	1	16.495	16.495	31049.412	4.15	Signifikan
C	1	0.444	0.444	835.765	4.15	Signifikan
AB	1	4.568	4.568	8598.588	4.15	Signifikan
AC	1	0.201	0.201	378.353	4.15	Signifikan
BC	1	0.462	0.462	869.647	4.15	Signifikan
ABC	1	0.042	0.042	79.059	4.15	Signifikan
Galat	32	0.017	0.000531			
Total	39	36.960				

Kesimpulan yang diambil dengan berdasarkan hasil perhitungan ANOVA seperti pada tabel diatas, sebagai berikut:

1. Ditinjau dari faktor ketebalan rongga resonator (A), nilai F_{Hitung} lebih besar daripada nilai F_{Tabel} , sehingga H_0 ditolak. Dapat disimpulkan bahwa faktor ketebalan rongga resonator mempengaruhi nilai *decibel drop*.
2. Ditinjau dari faktor diameter leher resonator (B), nilai $F_{Hitung} > F_{Tabel}$, sehingga H_0 ditolak. Dapat disimpulkan bahwa faktor diameter leher resonator mempengaruhi nilai *decibel drop*.
3. Ditinjau dari faktor volume isian (C), nilai $F_{Hitung} > F_{Tabel}$, sehingga H_0 ditolak. Dapat disimpulkan bahwa faktor volume isian mempengaruhi nilai *decibel drop*.
4. Ditinjau dari faktor ketebalan rongga resonator dan diameter leher resonator (AB), nilai $F_{Hitung} > F_{Tabel}$, sehingga H_0 ditolak. Dapat disimpulkan bahwa faktor ketebalan rongga resonator dan diameter leher resonator mempengaruhi nilai *decibel drop*.
5. Ditinjau dari faktor ketebalan rongga resonator dan volume isian (AC), nilai $F_{Hitung} > F_{Tabel}$, sehingga H_0 ditolak. Dapat disimpulkan bahwa faktor ketebalan rongga resonator dan volume isian mempengaruhi nilai *decibel drop*.
6. Ditinjau dari faktor diameter leher resonator dan volume isian (BC), nilai $F_{Hitung} > F_{Tabel}$, sehingga H_0 ditolak. Dapat disimpulkan bahwa faktor diameter leher resonator dan volume isian mempengaruhi nilai *decibel drop*.
7. Ditinjau dari faktor ketebalan rongga resonator, diameter leher resonator, dan volume isian (ABC), nilai $F_{Hitung} > F_{Tabel}$, sehingga H_0 ditolak. Dapat disimpulkan bahwa ketebalan rongga resonator, diameter leher resonator, dan volume isian mempengaruhi nilai *decibel drop*.

Uji Pembandingan Ganda

Uji pembandingan ganda ini dilakukan untuk dapat mengetahui tingkatan yang berpengaruh dari masing masing faktor guna memberikan perbedaan nilai *decibel drop* serta menentukan tingkatan terbaik dari masing masing faktor.

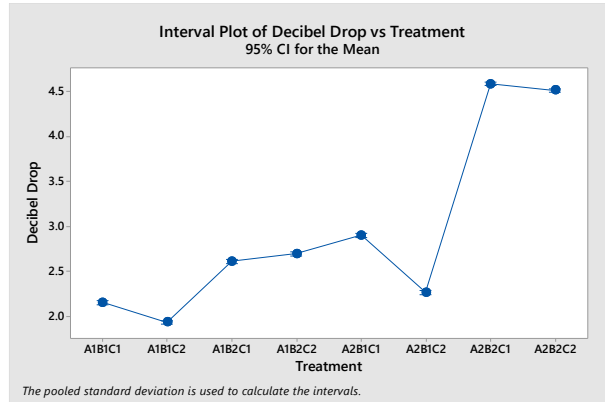
Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Treatment	N	Mean	Grouping
A2B2C1	5	4.5828	A
A2B2C2	5	4.5096	B
A2B1C1	5	2.9020	C
A1B2C2	5	2.6980	D
A1B2C1	5	2.6152	E
A2B1C2	5	2.27000	F
A1B1C1	5	2.15800	G
A1B1C2	5	1.93840	H

Means that do not share a letter are significantly different.

Gambar 18. Uji Pembandingan Ganda

Berdasarkan hasil perhitungan uji pembandingan ganda *Tukey* pada faktor ketebalan rongga resonator, diameter leher resonator dan volume isian dapat disimpulkan bahwa ketiga faktor tersebut memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai *decibel drop*. Hasil *decibel drop* paling optimal ditunjukkan pada Gambar 19.



Gambar 19. Plot Uji Pembandingan Ganda

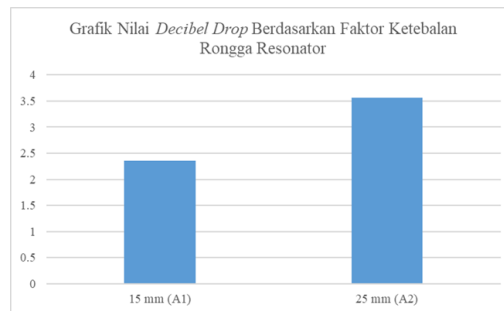
Berdasarkan diagram di atas, dapat diketahui bahwa variasi ketebalan rongga resonator sebesar 25 mm, diameter leher resonator sebesar 6 mm dan volume isian sebesar 7,5% (A2B2C1), memiliki nilai rata rata *decibel drop* sebesar 4,5828 sehingga memiliki hasil yang paling optimal dan lebih tinggi dibandingkan variasi lainnya.

Analisis dan Interpretasi Hasil

Analisis hasil pengujian serap bising yang meliputi analisis pengaruh faktor ketebalan rongga resonator, diameter leher resonator, dan volume isian.

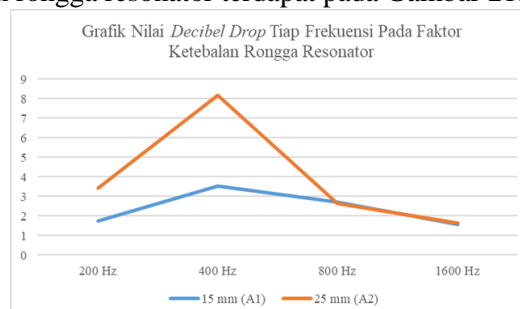
Analisis Faktor Ketebalan Rongga Resonator terhadap Nilai *Decibel Drop*

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, didapatkan uji ANOVA yang membuktikan bahwa faktor ketebalan rongga resonator berpengaruh terhadap nilai *decibel drop*. Kemudian dilakukan uji pembandingan ganda dengan metode Tukey didapatkan bahwa pada ketebalan rongga resonator sebesar 25 mm memberikan perbedaan signifikan terhadap nilai *decibel drop*. Grafik rata-rata nilai *decibel drop* dengan faktor ketebalan rongga resonator terdapat pada Gambar 20.



Gambar 20. Grafik Nilai *Decibel Drop* Berdasarkan Faktor Ketebalan Rongga Resonator

Grafik nilai *decibel drop* pada Gambar x menunjukkan bahwa rata-rata nilai *decibel drop* dengan faktor ketebalan rongga resonator sebesar 15 mm dan 25 mm berturut-turut adalah 2,352 dB dan 3,566 dB. Grafik nilai *decibel drop* tiap frekuensi (200 Hz, 400 Hz, 800 Hz, dan 1600 Hz) pada faktor ketebalan rongga resonator terdapat pada Gambar 21.



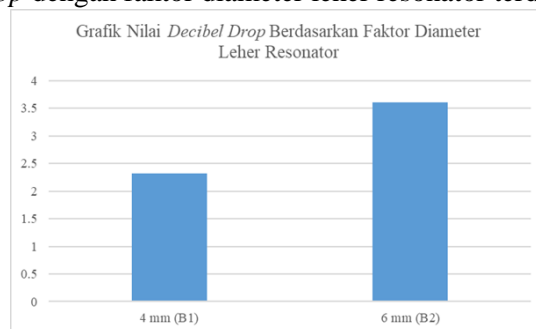
Gambar 21. Grafik Nilai *Decibel Drop* Tiap Frekuensi pada Faktor Ketebalan Rongga Resonator

Gambar 21 menunjukkan pergerakan nilai *decibel drop* tiap frekuensi dengan faktor ketebalan rongga resonator. Resonator dengan ketebalan rongga 15 mm memiliki nilai *decibel drop* pada frekuensi 200 Hz sebesar 1,761 dB, pada frekuensi 400 Hz sebesar 3,547 dB, pada frekuensi 800 Hz sebesar 2,719 dB, dan pada frekuensi 1600 Hz sebesar 1,563 dB. Sedangkan pada resonator dengan ketebalan rongga 25 mm memiliki nilai *decibel drop* pada frekuensi 200 Hz sebesar 3,436 dB, pada frekuensi 400 Hz sebesar 8,170 dB, pada frekuensi 800 Hz sebesar 2,656 dB, dan pada frekuensi 1600 Hz sebesar 1,657 dB.

Bentuk fisik dari *acoustic board* mempengaruhi kemampuan *acoustic board* tersebut dalam menyerap kebisingan. Faktor ketebalan rongga resonator dapat meningkatkan nilai koefisien serap bunyi pada frekuensi rendah atau menengah. Pada ketebalan rongga resonator sebesar 25 mm cocok untuk meningkatkan nilai koefisien serap bunyi pada frekuensi rendah karena pada frekuensi tersebut memiliki gelombang suara yang lebih panjang sehingga memerlukan rongga yang tebal untuk dapat menyerap secara efektif.

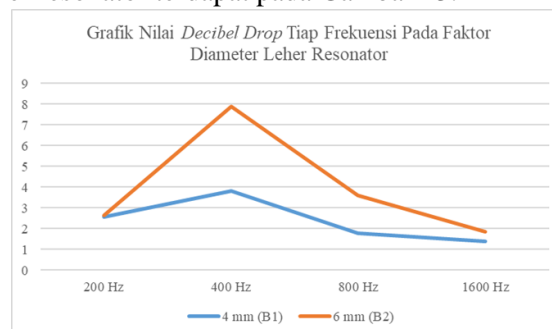
Analisis Faktor Diameter Leher Resonator terhadap Nilai *Decibel Drop*

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, didapatkan uji ANOVA yang membuktikan bahwa faktor diameter leher resonator berpengaruh terhadap nilai *decibel drop*. Kemudian dilakukan uji perbandingan ganda dengan metode SNK didapatkan bahwa pada diameter leher resonator sebesar 6 mm memberikan perbedaan signifikan terhadap nilai *decibel drop*. Grafik rata-rata nilai *decibel drop* dengan faktor diameter leher resonator terdapat pada Gambar 22.



Gambar 22. Grafik Nilai *Decibel Drop* Berdasarkan Faktor Diameter Leher Resonator

Grafik nilai *decibel drop* pada Gambar 5.3 menunjukkan bahwa rata-rata nilai *decibel drop* dengan faktor diameter leher resonator sebesar 4 mm dan 6 mm berturut-turut adalah 2,317 dB dan 3,601 dB. Grafik nilai *decibel drop* tiap frekuensi (200 Hz, 400 Hz, 800 Hz, dan 1600 Hz) pada faktor diameter leher resonator terdapat pada Gambar 23.



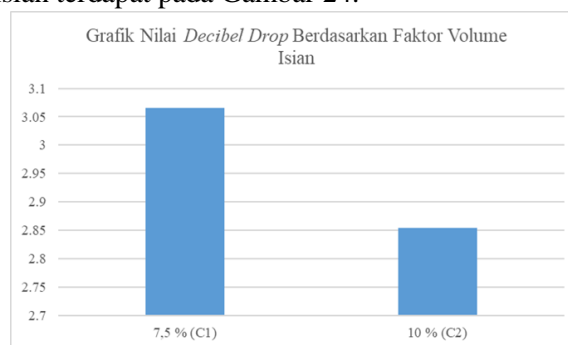
Gambar 23. Grafik Nilai *Decibel Drop* Tiap Frekuensi pada Faktor Diameter Leher Resonator

Gambar 23 menunjukkan pergerakan nilai *decibel drop* tiap frekuensi dengan faktor diameter leher resonator. Resonator dengan diameter leher 4 mm memiliki nilai *decibel drop* pada frekuensi 200 Hz sebesar 2,571 dB, pada frekuensi 400 Hz sebesar 3,817 dB, pada frekuensi 800 Hz sebesar 1,771 dB, dan pada frekuensi 1600 Hz sebesar 1,378 dB. Sedangkan pada resonator dengan diameter leher 6 mm memiliki nilai *decibel drop* pada frekuensi 200 Hz sebesar 2,625 dB, pada frekuensi 400 Hz sebesar 7,900 dB, pada frekuensi 800 Hz sebesar 3,605 dB, dan pada frekuensi 1600 Hz sebesar 1,842 dB.

Bentuk fisik dari *acoustic board* mempengaruhi kemampuan *acoustic board* tersebut dalam menyerap kebisingan. Penambahan lapisan papan yang berlubang juga dapat menjadi alternatif untuk meningkatkan kemampuan menyerap suara. Penambahan lubang (pola *binary*) pada permukaan *acoustic board* dapat menambah porositas material sehingga menambah penyerapan gelombang bunyi pada frekuensi rendah. Penambahan lubang (pola *binary*) pada leher resonator dapat meningkatkan nilai koefisien absorpsi bising karena jumlah volume bising yang masuk melalui leher resonator juga semakin besar, sehingga jumlah bising yang dipantulkan akan semakin kecil.

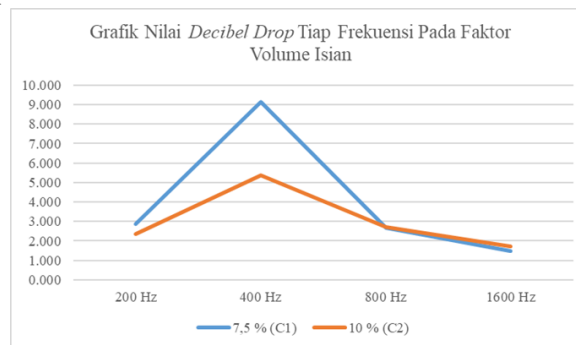
Analisis Faktor Volume Isian terhadap Nilai *Decibel Drop*

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, didapatkan uji ANOVA yang membuktikan bahwa faktor volume isian berpengaruh terhadap nilai *decibel drop*. Kemudian dilakukan uji pembandingan ganda dengan metode SNK didapatkan bahwa pada volume isian sebesar 7,5 % memberikan perbedaan signifikan terhadap nilai *decibel drop*. Grafik rata-rata nilai *decibel drop* dengan faktor volume isian terdapat pada Gambar 24.



Gambar 24. Grafik Nilai *Decibel Drop* Berdasarkan Faktor Volume Isian

Grafik nilai *decibel drop* pada Gambar 24 menunjukkan bahwa rata-rata nilai *decibel drop* dengan faktor volume isian sebesar 7,5 % dan 10 % berturut-turut adalah 3,065 dB dan 2,854 dB. Grafik nilai *decibel drop* tiap frekuensi (200 Hz, 400 Hz, 800 Hz, dan 1600 Hz) pada faktor volume isian terdapat pada Gambar 25.



Gambar 25. Grafik Nilai *Decibel Drop* Tiap Frekuensi pada Faktor Volume Isian

Gambar 25 menunjukkan pergerakan nilai *decibel drop* tiap frekuensi dengan faktor volume isian. Resonator dengan volume isian 7,5 % memiliki nilai *decibel drop* pada frekuensi 200 Hz sebesar 2,850 dB, pada frekuensi 400 Hz sebesar 9,123 dB, pada frekuensi 800 Hz sebesar 2,671 dB, dan pada frekuensi 1600 Hz sebesar 1,493 dB. Sedangkan pada resonator dengan volume isian 10 % memiliki nilai *decibel drop* pada frekuensi 200 Hz sebesar 2,347 dB, pada frekuensi 400 Hz sebesar 5,381 dB, pada frekuensi 800 Hz sebesar 2,704 dB, dan pada frekuensi 1600 Hz sebesar 1,727 dB.

Bentuk fisik dari *acoustic board* mempengaruhi kemampuan *acoustic board* tersebut dalam menyerap kebisingan. Penambahan *acoustic fill* (volume isian) dapat meningkatkan nilai koefisien serap bunyi. Semakin kecil volume isian maka nilai koefisien serap bunyi pada frekuensi rendah akan semakin besar karena porositas akan semakin besar sehingga suara yang

diserap akan lebih banyak pada frekuensi rendah dan sebaliknya semakin besar volume isian maka nilai koefisien serap bunyi pada frekuensi rendah akan semakin kecil.

Simpulan

Berdasarkan dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Berdasarkan uji ANOVA yang telah dilakukan, kombinasi faktor ketebalan rongga resonator, faktor diameter leher resonator, dan faktor volume isian berpengaruh terhadap nilai *decibel drop* dengan kombinasi faktor terbaik (A2B2C1).
2. Hasil pengujian diperoleh kombinasi faktor yang memiliki nilai *decibel drop* tertinggi adalah dari kombinasi ketebalan rongga resonator sebesar 25 mm, diameter leher resonator sebesar 6 mm, dan volume isian sebesar 7,5% dengan nilai *decibel drop* pada frekuensi 200 Hz, 400 Hz, 800 Hz, dan 1600 Hz berturut-turut sebesar 3,622 dB; 12,432 dB; 3,972 dB; dan 1,630 dB serta memiliki nilai rata-rata *decibel drop* sebesar 4,5828 dB.
3. Serat kapuk randu dapat digunakan sebagai bahan alternatif untuk *filler* pada pembuatan *acoustic board* karena dapat mereduksi bunyi sesuai dengan prinsip akustik ruang, yaitu menyerap energi bunyi dengan mengubahnya menjadi energi panas.

Daftar Pustaka

- Dianita, R., Sucipto, T., & Sutrisno. (2014). Analisa Pemilihan Material Bangunan Dalam Mewujudkan *Green Building* (Studi Kasus: Gedung Kantor Perwakilan Bank Indonesia Solo). *Jurnal FKIP UNS*.
- Gokulkumar, S., Thyla, P., Prabhu, L., & Sathish, S. (2020). *Measuring Methods of Acoustic Properties and Influence of Physical Parameters on Natural Fibers*. *Journal of Natural Fibers*.
- Islam, S., Sukardan, M., Novarini, E., & Aditya, F. (2018). Pembuatan *Porous Absorber* Panel Pengendali Kebisingan Suara Dari Sabut Kelapa Dan Serat Limbah PET (*Shoody Fiber*). *Jurnal Area Tekstil*.
- Kusmiran, A., Hidayat, M., Desiasni, R., & Maad, A. (2019). *Numerical Analysis of Composite With Natural Fiber Reinforcement Using Finite Element Method: Leaf Spring Composite Application*. *ICOST 2019*. doi: 10.4108/eai.2-5-2019.2284617
- Munir, M., & Dzulkiflih. (2015). Pemanfaatan *Styrofoam* Sebagai Bahan Dasar Peredam Suara Dengan Metode Tabung Impedansi. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia*.

Pengembangan Produk Beras Porang Menggunakan Metode *Quality Function Deployment (QFD)*

Deasy Kartika Rahayu Kuncoro^{*1,2)}, Masyiroh Ifti Rosyidah Layyinah²⁾, Arif Harjanto³⁾

¹⁾Program Profesi Insinyur, Sekolah Pasca Sarjana, IPB University, Kampus Dramaga Bogor, Indonesia

²⁾Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB University, Kampus Dramaga Bogor, Indonesia

³⁾Program Profesi Insinyur, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman, Kampus Gunung Kelua, Samarinda, Indonesia

Email*: kuncorodeasy@apps.ipb.ac.id

ABSTRAK

Sumber pangan alternatif potensial yang dapat digunakan dalam produksi beras analog adalah porang. Porang yang berasal dari jenis tanaman *amorphophallus muelleri* merupakan tanaman umbi-umbian asli Indonesia yang dapat ditemukan di berbagai daerah di Pulau Jawa. Porang memiliki kandungan serat yang lebih tinggi dibandingkan padi dan tanaman umbi-umbian lainnya seperti ubi jalar, garut, dan ganyong. Dalam memenuhi harapan konsumen dan mempertahankan daya saing produk di pasar, penting adanya pendekatan yang sistematis dan berkelanjutan dalam pengembangan produk. Tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah untuk mengembangkan produk beras porang agar sesuai dengan preferensi dan tingkat kepentingan konsumen. Penelitian ini menggunakan metode Quality Function Deployment (QFD) yang dilakukan melalui penyebaran kuisioner fase 1 dan fase 2 untuk mengetahui preferensi dan tingkat kepentingan. Tekstur pada produk beras porang memiliki nilai jual tertinggi sebesar 1,5 dengan tingkat kepentingan yang sama bagi konsumen terhadap rasa, warna, dan bentuk.

Kata kunci: beras porang, quality function deployment, rumah kualitas

1. Pendahuluan

Beras adalah sumber pangan utama bagi sebagian besar penduduk Indonesia. Beras merupakan makanan pokok yang menyumbang sebagian besar asupan kalori dan karbohidrat dalam diet sehari-hari. Beras analog adalah produk makanan yang dibuat dari bahan pangan selain beras, dan dapat menjadi pilihan gizi lain sebagai makanan pokok bagi masyarakat Indonesia (Budijanto 2017). Potensi bahan pangan alternatif yang bisa diaplikasikan dalam produksi beras analog adalah umbi porang. Umbi porang, berasal dari tanaman *Amorphophallus muelleri*, merupakan jenis umbi yang berasal dari Indonesia. Umbi porang memiliki kadar serat yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan beras dan umbi-umbian lainnya seperti umbi suweg, walur, dan ganyong.

Nasi putih, yang dihasilkan dari beras, merupakan kebutuhan pangan utama di kalangan penduduk Indonesia. Meskipun demikian, nasi putih memiliki indeks glikemik tinggi yang dapat meningkatkan kadar glukosa darah dan menjadi faktor risiko obesitas (Bahadoran *et al.* 2014). Penerapan gaya hidup sehat dapat mencakup konsumsi makanan yang kaya serat dan memiliki indeks glikemik rendah. Umbi porang merupakan sumber makanan dengan serat yang tinggi dan indeks glikemik yang rendah. Kandungan serat ini bermanfaat untuk mencegah beberapa penyakit tertentu, seperti diabetes melitus, obesitas, dan kanker. Menurut Wardani dan Arifiyana (2021), menerapkan gaya hidup sehat, berolahraga secara teratur, mengelola stres, tidak merokok, dan mengonsumsi makanan tinggi serat, dapat membantu mencegah risiko terkena diabetes melitus.

Belakangan ini, telah banyak terjadi kemajuan dalam pengembangan produk olahan dari umbi porang, salah satunya adalah produksi beras analog dari porang. Namun, tingginya ketergantungan masyarakat Indonesia pada konsumsi beras putih masih menjadi hambatan dalam pengembangan komoditas lainnya sebagai beras analog. Penelitian ini bertujuan untuk

mengidentifikasi dan mengukur bagaimana minat dan kebutuhan konsumen terhadap beras porang sebagai bagian dari inisiatif pengembangan produk beras porang. Metode *Quality Function Deployment* (QFD) digunakan untuk menyusun rencana dan melakukan pengembangan produk dengan mempertimbangkan kebutuhan dan keinginan konsumen serta menentukan aspek teknis guna menjawab kebutuhan dan keinginan tersebut (Muis *et al.* 2022). Dengan demikian, dalam memenuhi harapan konsumen dan mempertahankan daya saing produk di pasar, penting adanya pendekatan yang sistematis dan berkelanjutan dalam pengembangan produk.

2. Metode

Terdapat beberapa tahapan dalam penyelesaian penelitian pengembangan produk beras porang.

Identifikasi Masalah

Metode yang dilakukan dalam melakukan identifikasi masalah adalah melakukan pengambilan data kuesioner terhadap keinginan dan kebutuhan konsumen pada produk beras porang. Kuisisioner disebar dalam dua tahap. Tahap pertama adalah kuisisioner terbuka untuk mengidentifikasi keinginan atau kebutuhan konsumen yang menjadi pertimbangan dalam menentukan parameter beras yang menjadi preferensi dan tahap kedua adalah kuisisioner tertutup untuk mengukur tingkat kepentingan akan suatu parameter keinginan atau kebutuhan. Tahapan tersebut melibatkan pengumpulan data kuantitatif berdasarkan pendapat responden melalui penggunaan kuesioner.

Pengumpulan Data

Pada penelitian ini, data yang digunakan merupakan data primer, berupa informasi yang diperoleh melalui pengambilan data langsung di lapangan. Penyusunan kuesioner adalah langkah krusial dalam proses pengumpulan data. Fokus utama dalam penyusunan kuesioner adalah mendapatkan informasi yang sejalan dengan tujuan penelitian serta memastikan bahwa data yang dikumpulkan memiliki tingkat validitas dan reliabilitas yang tinggi.

Penyebaran kuisisioner tahap pertama dan kedua dilakukan kepada 30 responden yang pernah mengonsumsi beras porang. Jumlah batas minimum ukuran sampel yang digunakan pada penelitian yang menggunakan analisis data statistik menurut Mahmud (2011) adalah minimal 30 responden. Dengan 30 responden telah dianggap cukup memberikan hasil yang relevan dan mewakili pada suatu penelitian atau survei.

Tahap awal kuisisioner disusun untuk menjangkau informasi kebutuhan konsumen yang ada dengan menyajikan beberapa pertanyaan kepada responden tentang parameter yang menjadi pertimbangan konsumen saat membeli beras. Selanjutnya, parameter tersebut menjadi daftar pertanyaan yang dirancang dengan opsi jawaban berbentuk skala poin angka yang masing-masing mencerminkan berbagai tingkat arti kepentingan. Pada Tabel 1 menunjukkan skala yang digunakan dalam menentukan tingkat kepentingan konsumen.

Tabel 1. Skala kepentingan konsumen

Skala	Tingkat kepentingan
1	Sangat Tidak Penting
2	Tidak Penting
3	Cukup Penting
4	Penting
5	Sangat Penting

Langkah selanjutnya adalah menyusun kuesioner akhir yang bertujuan untuk menilai tingkat kepentingan konsumen, dan juga untuk mengevaluasi tingkat kepuasan konsumen. Pada Tabel 2 menunjukkan skala yang digunakan untuk menentukan tingkat kepuasan konsumen.

Tabel 2. Skala kepuasan konsumen

Skala	Tingkat kepuasan
1	Tidak Baik
2	Kurang Baik
3	Cukup Baik
4	Baik
5	Sangat Baik

Analisis Data

Analisis data yang dilakukan menggunakan metode *Quality Function Deployment (QFD)*. Berikut adalah tahapan yang dilakukan untuk menerapkan *Quality Function Deployment (QFD)*:

1. Melakukan identifikasi kebutuhan dan keinginan konsumen (*Customer needs*)
2. Membuat matriks perencanaan (*Planning Matrix*)
 - a. Menentukan tingkat kepentingan konsumen (*Importance to Customer*)
 - b. Menentukan tingkat kepuasan konsumen terhadap produk (*Customer Satisfaction Performance*)

Dihitung dengan rumus :

$$CSF = \frac{\sum[(\text{Number of respondents as performances value } i) i]}{(\text{Total number of respondents})} \quad (1)$$

- c. Nilai target (*Goal*)

Nilai target berfungsi sebagai indikator nilai yang ingin dicapai untuk memenuhi setiap kebutuhan konsumen. Nilai target (goal) ditetapkan oleh perusahaan.

- d. Rasio perbaikan (*Improvement Ratio*)

Dihitung dengan rumus :

$$IR = \frac{\text{Goal}}{\text{Current Satisfaction Performance}} \quad (2)$$

- e. Titik jual (*Sales Point*)

Titik jual merupakan sejauh mana kebutuhan konsumen dapat meningkatkan daya jual produk. Pada Tabel 3 menunjukkan bentuk penilaian terhadap titik jual.

Tabel 3. Penilaian titik jual (*Sales Point*)

Nilai	Keterangan
1	Tidak ada titik jual
1,2	Titik jual menengah
1,5	Titik jual kuat

- f. *Raw Weight*

Dihitung dengan rumus :

$$RW = (\text{Importance to Customer}) . (IR) . (\text{Sales Point}) \quad (3)$$

g. *Normalized Raw Weight*

Dihitung dengan rumus :

$$\text{Normalized Raw Weight} = \frac{\text{Raw Weight}}{\sum \text{Raw Weight}} \quad (4)$$

3. Penyusunan parameter teknik

Parameter teknik berfungsi sebagai penghubung antara keinginan konsumen dengan karakteristik teknis yang kemudian dapat diimplementasikan pada produk.

4. Menentukan hubungan antara parameter kebutuhan konsumen dengan upaya kepentingan teknis

5. Menentukan hubungan antar kepentingan teknis

6. Penentuan prioritas

Penentuan prioritas menurut Susila (2014) adalah prioritas berdasarkan kepentingan teknik yang dikembangkan lebih dulu.

7. Pembuatan *House of Quality* (HoQ)

House of Quality menurut Verdika *et al.* (2016) adalah suatu struktur atau kerangka kerja yang digunakan dalam konteks pendekatan manajemen desain pada *Quality Function Deployment* (QFD).

3. Hasil dan Pembahasan

Identifikasi *Customer Needs*

Tahap awal dalam menerapkan metode *Quality Function Deployment* dalam mengembangkan produk adalah mengenali serta mengumpulkan keinginan dan kebutuhan konsumen terhadap produk beras. Pada Tabel 4 dirumuskan atribut kualitas sebagai pertimbangan konsumen dalam memilih produk beras.

Tabel 4. Atribut *Customer Needs*

Butir	Atribut <i>Customer Needs</i>
1	Rasa
2	Tekstur
3	Aroma
4	Bentuk
5	Warna

Berdasarkan hasil identifikasi dan pengamatan beras porang yang terdapat pada Tabel 4, kebutuhan konsumen yang menjadi pengaruh kepuasan dan faktor pertimbangan dalam pemilihan produk beras porang adalah rasa, aroma, tekstur, warna, dan bentuk.

Penentuan *Planning Matrix*

Tingkat kepentingan konsumen

Tingkat kepentingan konsumen (*Importance to Customer*) menggambarkan sejauh mana suatu atribut produk atau layanan dianggap penting dalam memenuhi kebutuhan atau keinginan konsumen. Oleh karena itu, pemahaman mendalam terhadap tingkat kepentingan konsumen dapat membantu perusahaan atau produsen untuk fokus pada aspek-aspek yang paling krusial dalam peningkatan kepuasan pelanggan.

Tabel 5. Hasil *Importance to Customer*

<i>Customer Needs</i>	Skala Pengukuran					Tingkat Kepentingan
	1	2	3	4	5	
Rasa	0	2	7	15	6	4
Tekstur	0	6	2	9	13	5
Aroma	0	0	4	15	11	4
Bentuk	0	3	14	8	5	3
Warna	0	10	9	11	0	4

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 5, diperoleh tingkat kepentingan pada produk beras dengan tingkat sangat penting pada tekstur beras yang kenyal dan pulen. Kemudian dengan tingkat penting pada faktor rasa, aroma, dan warna. Sedangkan tingkat cukup penting terdapat pada faktor bentuk beras.

Tingkat kepuasan konsumen

Tingkat kepuasan konsumen (*Customer Satisfaction Performance*) diukur dengan melalui atribut *customer needs* yang tercermin dalam tingkat kepentingan dan tingkat kepuasan konsumen. Tingkat kepentingan konsumen menjadi kunci dalam memenuhi kepuasan konsumen dengan memahami serta memenuhi kebutuhan konsumen (Alfiana *et al.* 2020).

Tabel 6. *Customer Satisfaction Performance*

Kebutuhan Konsumen	Skala Pengukuran					Total Skor	Tingkat Kepuasan
	1	2	3	4	5		
Rasa	0	1	4	17	8	122	4,067
Tekstur	0	1	5	11	13	126	4,200
Aroma	0	3	6	15	6	114	3,800
Bentuk	0	1	16	10	3	105	3,500
Warna	0	2	9	10	9	116	3,867

Berdasarkan pada Tabel 6, konsumen merasa sangat puas terhadap tekstur dari beras porang yang kenyal dan pulen. Tingkat kepuasan pada beras porang yang tinggi dapat disebabkan karena beras porang memiliki tekstur yang kenyal dan unik serta berbeda dari beras putih biasa yang dapat menjadi daya tarik bagi konsumen. Selain itu, ketahanan tekstur beras porang saat setelah dimasak juga dapat menjadi faktor yang diinginkan, terutama jika dibandingkan dengan beras lainnya.

Nilai Target dan Titik Jual

Nilai target (*Goal*) merupakan nilai yang ditentukan oleh perusahaan dalam menghasilkan tingkat kepuasan konsumen. Sedangkan, titik jual (*Sales Point*) merupakan kontribusi nilai suatu kebutuhan pelanggan terhadap potensi penjualan produk.

Berdasarkan tingkat kebutuhan dan preferensi konsumen terhadap produk beras yang telah diidentifikasi, serta faktor-faktor yang memengaruhi kepuasan konsumen, penentuan indikator kebutuhan konsumen dengan nilai target dan titik jual tertinggi terfokus pada rasa dan tekstur beras. Hal ini disebabkan oleh peran penting dari rasa dan tekstur beras sebagai faktor utama yang mempengaruhi pilihan konsumen. Oleh karena itu, nilai target dan titik jual tertinggi ditetapkan pada aspek rasa dan tekstur beras.

Pada penelitian ini, penentuan nilai *sales point* tertinggi terdapat pada atribut rasa dan tekstur yaitu 1,5. Nilai ini mengindikasikan bahwa terdapat tingkat kepuasan yang signifikan bagi setiap kebutuhan pelanggan dalam hal rasa dan tekstur produk sehingga memiliki titik jual yang kuat (Bora dan Sanusi 2018).

Rasio Perbaikan

Rasio Perbaikan (*Improvement Ratio*) adalah Analisis perbandingan antara harapan nilai yang diinginkan oleh perusahaan dengan tingkat kepuasan yang diperoleh dari konsumen terhadap produk sebagai evaluasi kinerja yang dapat mengoptimalkan kepuasan pelanggan. Dengan mengetahui nilai *improvement ratio*, produk beras porang dapat memperluas kapabilitasnya dalam memenuhi kepuasan konsumen dan menetapkan urutan prioritas untuk kebutuhan konsumen. Atribut dengan nilai *improvement ratio* tertinggi merupakan prioritas utama.

Tabel 7 menunjukkan atribut rasa, tekstur, aroma, dan warna memiliki nilai rasio perbaikan lebih dari 1. Berdasarkan pada Alfiana *et al.* (2020) hal ini menandakan bahwa kepuasan konsumen terhadap produk beras porang belum mencapai tingkat maksimal sesuai dengan target yang telah ditetapkan. Rasio perbaikan tertinggi dengan nilai 1,23 terdapat pada karakteristik rasa, sehingga atribut ini menjadi fokus utama untuk perbaikan pada produk beras porang. Sedangkan pada bentuk beras porang telah memenuhi target maksimal dalam kepuasan konsumen. Hal ini dapat diakibatkan karena bentuk beras tidak memiliki nilai target maupun titik jual yang tinggi.

Raw Weight dan Normalized Raw Weight

Raw weight menurut Hidayat dan Anggraini (2022), merupakan besarnya bobot untuk setiap baris atribut konsumen yang menjadi dasar evaluasi penentuan prioritas dalam memenuhi kebutuhan konsumen. Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 7, nilai tertinggi terdapat pada rasa beras porang. Sehingga, atribut rasa pada beras porang merupakan prioritas utama untuk dilakukan peningkatan dan perbaikan kualitas. Selain atribut rasa, prioritas utama juga terdapat pada atribut tekstur beras porang. Atribut tekstur juga memiliki nilai yang tinggi sehingga perlu menjadi prioritas utama dalam perbaikan produk beras porang. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Hidayat dan Anggraini (2022), bahwa semakin tinggi nilai *raw weight*, semakin tinggi prioritas atribut tersebut dalam proses pengembangan produk.

Tabel 7. Nilai Matriks Perencanaan (*Planning Matrix*)

Kebutuhan Konsumen	Nilai Target	Titik Jual	Rasio Perbaikan	Raw Weight	Normalized Raw Weight
Rasa	5	1,5	1,23	9,22	0,30
Tekstur	5	1,5	1,19	8,93	0,29
Aroma	4	1,2	1,05	5,05	0,16
Bentuk	3	1	0,86	2,57	0,08
Warna	4	1,2	1,03	4,97	0,16

Parameter Teknik

Tahap ini memerlukan identifikasi kebutuhan teknis yang sejalan dengan kebutuhan konsumen terhadap beras porang. Tindakan ini melibatkan penyusunan tanggapan teknis pada setiap keinginan dan kebutuhan konsumen yang tepat sasaran. Proses ini mencerminkan bagaimana respon perbaikan sesuai keinginan konsumen dengan memberikan solusi teknis yang relevan. Parameter teknik dari produk beras porang dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Parameter Teknik

No	Parameter Teknik
1	Pemilihan umbi porang berkualitas
2	Suhu pada seluruh proses produksi sesuai
3	Menentukan metode pengolahan yang tepat
4	Kandungan air yang sesuai
5	Memastikan tidak ada benda asing

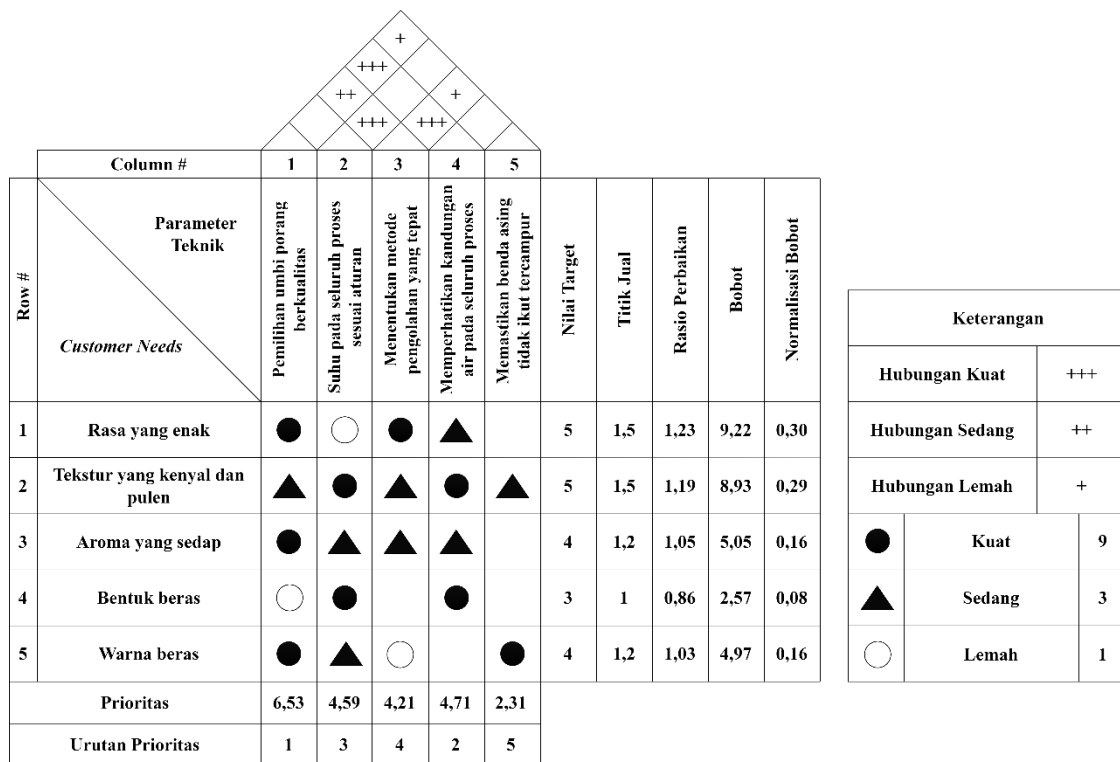
Hubungan antar Parameter Teknis dengan Kebutuhan Konsumen (Matriks Korelasi)

Pada tahap ini bertujuan memahami keterkaitan antara berbagai hubungan komponen dari parameter teknis guna memenuhi preferensi konsumen yang tergambar dalam matriks Korelasi. Matriks tersebut menjadi elemen pusat dalam struktur matriks *House of Quality* (HOQ).

Dalam metode *Quality Function Deployment* (QFD) hubungan kuat diberi bobot 9 dan diberi simbol (●) dalam penelitian ini, kemudian pada hubungan sedang diberi bobot 3 dan diberi simbol (▲), pada hubungan lemah diberi bobot 1 dan diberi simbol (○). Tingkat hubungan atribut dengan respon teknis yang ditetapkan dapat dilihat pada Gambar 1.

Hubungan Antar Parameter Teknis (Matriks Trade Off)

Analisis hubungan antar parameter teknis dapat dilakukan melalui matriks *trade off* yang berfungsi untuk mengetahui keterkaitan dan pengaruh antar parameter. Matriks *trade off* merupakan bagian dari struktur House of Quality (HoQ). Tanda yang digunakan dalam matriks *trade off* ini berfungsi untuk menandai tingkat keterkaitan di antara parameter. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Alfiana *et al.* (2020), tanda (++) digunakan pada hubungan yang kuat, (+) pada hubungan yang sedang, dan (-) pada hubungan yang lemah.



Gambar 1. House of Quality (HoQ) Produk Beras Porang

House of Quality (HoQ)

House of Quality (HoQ) adalah alat atau kerangka dalam *Quality Function Deployment* (QFD) untuk merinci dan mengorganisir informasi yang berkaitan dengan kebutuhan pelanggan dan bagaimana produk ataupun layanan dapat memenuhi kebutuhan tersebut. Sedangkan *Quality Function Deployment* (QFD) adalah pendekatan sistematis untuk merancang dan melakukan pengembangan produk atau layanan yang fokus dalam memahami kebutuhan pelanggan.

Matriks *House of Quality* (HoQ) dapat dilihat pada Gambar 1. Konsumen memiliki faktor pertimbangan dalam pemilihan produk beras porang, di antaranya adalah berdasarkan rasa, aroma, tekstur, warna, dan bentuk. Konsumen menginginkan rasa yang enak, tekstur yang kenyal dan pulen, aroma yang sedap, serta bentuk dan warna beras porang yang baik.

Berdasarkan matriks *House of Quality* (HoQ) pada Gambar 1, diperoleh urutan prioritas parameter teknik sebagai upaya pengembangan produk beras porang dengan prioritas utama yaitu pada pemilihan umbi porang yang tepat dan berkualitas. Umbi porang yang berkualitas memberikan pengaruh yang kuat pada hasil rasa, aroma, dan warna dari beras porang. Dengan menggunakan umbi porang yang berkualitas, akan diperoleh hasil produk beras porang yang berkualitas.

Umbi porang yang dipilih dengan fokus pada kualitas terbaik dapat membawa karakteristik yang diinginkan oleh konsumen. Selain itu, kondisi pertumbuhan tanaman porang, termasuk faktor lingkungan seperti tanah, iklim, dan curah hujan, memiliki peran penting dalam membentuk kualitas umbi porang. Proses pemanenan dan penanganan setelah panen juga perlu dilakukan dengan hati-hati agar kualitas nutrisi dan karakteristik organoleptik tetap terjaga.

Hasil dari matriks *House of Quality* (HoQ) pada Gambar 1, kualitas umbi porang memiliki hubungan kuat dengan kandungan air dari beras porang yang dihasilkan. Hal ini diakibatkan karena kandungan air pada bahan baku awal mempengaruhi kandungan air pada seluruh proses produksi. Selain itu, parameter teknis dengan memperhatikan kandungan air juga memiliki hubungan kuat dengan parameter suhu. Hal ini dikarenakan, dengan mengatur suhu sesuai dengan aturan, maka kandungan air pada proses produksi beras porang juga akan terkontrol dengan baik. Sehingga dapat dihasilkan rasa, tekstur, aroma, dan bentuk beras porang yang sesuai dengan kebutuhan konsumen.

4. Simpulan

Dari hasil analisis pada penelitian yang telah dilakukan mengenai pengembangan produk beras porang dengan *Quality Function Deployment* (QFD), dapat ditarik simpulan bahwa pada pengembangan produk beras porang, yang menjadi prioritas utama untuk diperbaiki adalah rasa dari beras porang. Dengan parameter teknis yang telah dibuat, perbaikan kualitas rasa dari beras porang dapat dilakukan dengan memilih bahan baku umbi porang yang berkualitas baik. Setiap perubahan kecil dalam karakteristik teknis memiliki dampak signifikan terhadap kepuasan konsumen. Hal ini menunjukkan adanya hubungan kuat antara parameter teknis dan kinerja produk. Sehingga diharapkan dengan memperhatikan seluruh parameter teknis dan kebutuhan konsumen, produsen dapat memastikan bahwa produk beras porang yang dihasilkan sesuai dengan preferensi konsumen dalam hal rasa, tekstur, aroma, bentuk, dan warna.

Daftar Pustaka

- Alfiana, F., Hartiati, A., Yoga, I. W. G. S., 2020. Identifikasi prioritas perbaikan pada kualitas produk es kopi susu di Kovfee-Bali dengan metode quality function deployment (qfd). *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Agroindustri* ISSN, 2503, 488X.
- Bahadoran, Z., Mirmiran, P., Delshad, H., Azizi, F., 2014. White rice consumption is a risk factor for metabolic syndrome in Tehrani adults: A prospective approach in Tehran lipid and glucose study. *Archives of Iranian Medicine*, 17(6), 435– 440.
- Bora, M. A., Sanusi, S., 2018. Desain produk jasa layanan dengan menggunakan metode quality function deployment (qfd) Di Rusun Fanindo. *Jurnal Industri Kreatif (JIK)*, 2(2), 37-44.

- Budijanto, S., 2017. Karakteristik fisik, kimia, dan sensori beras analog berbasis* bahan pangan non beras. *Jurnal Pangan*, 26(1), 1-12.
- Hidayat, R., Anggraini, M., 2022. Penerapan metode quality function deployment (qfd) dalam pengembangan produk cutteristic. *JUTI UNISI*, 6(1), 33-38.
- Mahmud. 2011. *Metode Penelitian Pendidikan*, Bandung(ID): Pustaka Setia.
- Muis, A. A., Kurniawan, D., Ahmad, F., Pamungkas, T.A., 2022. Rancangan meja pengatur ketinggian otomatis menggunakan pendekatan antropometri dengan metode *quality function deployment* (qfd). *Jurnal Teknologi dan Manajemen Industri Terapan*, 1(2), 114-122
- Susila, G. P. A. J., 2014. Implementasi quality function deployment (qfd) untuk meningkatkan layanan publik di RSUD Kabupaten Buleleng Bali. *Jurnal Ilmu Sosial dan Humaniora*, 3(2).
- Verdika, P., Nursanti, E., Priyasmanu, T., 2016. Pengembangan desain produk teh gelas dengan menggunakan metode quality function deployment untuk meningkatkan penjualan Di CV. Tirta Indo Megah. *Jurnal Teknologi dan Manajemen Industri*, 2(1), 10-14.
- Wardani, R. K., Arifiyana, D., 2021. Pengaruh lama perendaman dan suhu larutan jeruk nipis terhadap kadar kalsium oksalat pada umbi porang. *Journal of Research and Technology*, 1-8.

Penilaian Kesiapan Implementasi ISO 9001:2015 Sistem Manajemen Mutu Menggunakan Metode Gap Analisis (Studi Kasus: Pabrik Brem Solo)

Erwin Agil Nur Rohmat^{* 1)}, Azka Auliya Nurul Azizah²⁾, Maulidan Mirza Tsany Gozali³⁾, Shafira Maura Rasya⁴⁾ dan Fakhрина Fahma⁵⁾

¹⁾Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami No.36 Ketingan Jebres, Surakarta, 57126, Indonesia

Email: erwinagil11@student.uns.ac.id

ABSTRAK

Implementasi ISO 9001:2015 penting untuk meningkatkan kualitas produk, daya saing, kepuasan pelanggan, dan pertumbuhan ekonomi. Pabrik Brem Solo ingin menerapkan ISO 9001:2015 untuk meningkatkan kualitas produk dan layanannya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kesiapan Pabrik Brem Solo dalam menerapkan ISO 9001:2015. Penelitian ini dilakukan dengan 4 tahap: identifikasi awal, pengumpulan data, pengolahan data, dan analisis data. Berdasarkan hasil penelitian, hanya klausul 7 yang sudah siap untuk melengkapi QMS ISO 9001:2015 dan melakukan sertifikasi. Klausul 9 memiliki penilaian kesiapan terkecil dan harus dilakukan Perbaikan QMS untuk persiapan sertifikasi ISO 9001:2015. Secara keseluruhan, penilaian kesiapan implementasi ISO 9001:2015 di Pabrik Brem Solo adalah 67%, artinya Pabrik Brem Solo masih harus memperbaiki QMS untuk persiapan sertifikasi ISO 9001:2015.

Kata kunci: Implementasi Standar ISO 9001:2015, Gap Analisis, Manajemen Mutu

1. Pendahuluan

Implementasi ISO 9001:2015 di Indonesia menjadi suatu hal yang sangat penting seiring berkembangnya zaman, era globalisasi, dan pasar internasional saat ini. Penerapan ISO 9001:2015 di Indonesia memberikan banyak manfaat bagi perusahaan dan negara secara keseluruhan. Dengan menerapkan ISO 9001:2015, perusahaan dapat meningkatkan konsistensi kualitas produk dan layanannya sehingga kepuasan pelanggan meningkat. Menurut Ramadhany & Supriono (2017), penerapan ISO 9001:2015 berpengaruh baik terhadap standarisasi prosedur kerja dan meningkatnya persepsi konsumen terhadap kualitas tenaga kerja. Indonesia dapat meningkatkan daya saing, mutu produk, dan layanannya di pasar global untuk mendorong pertumbuhan ekonomi nasional. Industri-industri besar dan perusahaan multinasional yang ada di Indonesia umumnya telah menerapkan ISO 9001:2015 atau standar mutu lain yang setara. Industri menengah di Indonesia berada dalam tahap transisi dan mulai menunjukkan minat untuk menerapkan ISO 9001:2015 pada usaha yang mereka miliki. Pada Usaha Kecil dan Mikro (UKM) di Indonesia, masih banyak UKM yang belum mengenal atau memahami terkait manfaat dan pentingnya implementasi ISO 9001:2015 pada pasar usaha yang mereka jalankan.

Hidayati & Efriadi (2022) dalam penelitiannya melakukan implementasi ISO 9001:2015 pada perusahaan jasa inspeksi ketenagalistrikan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa adanya sertifikasi ISO dapat meningkatkan performa perusahaan dan pekerjanya, serta memberi pengaruh perusahaan mencapai targetnya lebih cepat karena dapat menjamin dan merawat mutu dari produknya secara berkelanjutan. Menurut (Dimas Raynaldo Dwi Putra, 2020) dalam melakukan penelitiannya dapat menunjukkan adanya peningkatan kinerja dan mempertahankan pelanggannya yang sudah ada hingga saat ini. Menurut (Yudi Syahrullah, 2018) dalam penelitiannya di ITTP menunjukkan bahwa ISO dapat meningkatkan kepuasan pelanggan baik eksternal maupun internal, baik itu mahasiswa maupun pelayanan organisasi. Gap analisis didefinisikan sebagai aktivitas membandingkan dua macam kondisi dan mengidentifikasi perbedaannya (Jonathan Michael Fernando, 2017). Dalam penelitian yang dilakukan oleh

Bakhtiar dan Purwonggo (2009), gap analisis berperan sebagai *tools* untuk mengevaluasi penerapan ISO 9001 di PT PLN.

Industri makanan dan minuman di Indonesia memiliki potensi yang besar untuk berkembang. Namun, untuk bersaing di pasar global, industri ini perlu meningkatkan kualitas produk dan layanannya. Salah satu cara untuk meningkatkan kualitas adalah dengan menerapkan Sistem Manajemen Mutu (SMM) ISO 9001:2015. Pabrik Brem Solo adalah salah satu produsen brem ternama di Indonesia. Tetapi, dalam penjualannya didapatkan barang retur dari pelanggan dengan rata-rata setiap bulannya Pabrik Brem Solo menerima retur 10% produk dari hasil penjualan karena tidak sesuai spesifikasi. Dari permasalahan tersebut, perlu dilakukan penerapan dan implementasi sistem manajemen mutu ISO 9001:2015 untuk meningkatkan kualitas produk dan layanannya. Namun, sebelum dilakukan hal tersebut, perlu dilakukan penilaian kesiapan perusahaan terlebih dahulu dalam penerapan dan implementasi sistem manajemen mutu ISO 9001:2015.

Saat ini belum diketahui tingkat kesiapan Pabrik Brem Solo dalam menerapkan ISO 9001:2015, kesenjangan antara kondisi saat ini dengan persyaratan ISO 9001:2015, dan langkah-langkah yang perlu diambil untuk mencapai kesiapan implementasi ISO 9001:2015. Oleh karena itu, penelitian dilakukan untuk mengetahui hal-hal yang diperlukan Pabrik Brem solo untuk menerapkan ISO 9001:2015 dengan menggunakan metode *Gap Analysis*, yaitu sebuah metode analisis kesenjangan untuk membandingkan situasi saat ini dengan situasi yang diinginkan dari suatu organisasi.

2. Metode

Penelitian ini berupa studi kasus pada Pabrik Brem Solo yang bertujuan untuk mengetahui tingkat kesiapan Pabrik Brem Solo dalam menerapkan ISO 9001:2015. Pada penelitian ini, terdapat 3 orang responden dari Pabrik Brem Solo yaitu 1 orang *owner*, 1 orang staf pemasaran dan 1 orang staf produksi.

Tahap pertama yaitu tahap pengumpulan data. Tahap pengumpulan data diawali dengan membuat desain kuesioner dari setiap klausul pada standar ISO 9001:2015, sebagai dasar penyusunan pertanyaan/ Pernyataan. Sedangkan perancangan respon jawaban yakni dengan menggunakan skala *likert* 1-5 seperti pada tabel 1. Kemudian data dikumpulkan dengan melakukan observasi dan wawancara langsung kepada pihak Pabrik Brem Solo menggunakan kuesioner yang telah dibuat.

Tabel 1. Kriteria Skala Penilaian Kesiapan

Skor	Keterangan
1	Jika organisasi atau perusahaan tidak memahami apa yang diperlukan dan tidak melakukan hal tersebut
2	Jika organisasi atau perusahaan memahami pentingnya aktivitas tersebut namun tidak melakukannya.
3	Jika organisasi atau perusahaan memiliki dokumen tetapi belum diterapkan atau dilakukan tapi tidak dicatat.
4	Jika organisasi atau perusahaan melakukan aktivitas tetapi tidak konsisten.
5	Jika organisasi atau perusahaan melakukan aktivitas dengan baik (dilakukan secara konsisten).

Sumber: Jurnal Gap Analisis Persiapan Implementasi ISO 9001:2015 pada PT Trans Power Marine, TBK

Tabel 2. Range Gap Analysis

Persentase	Uraian
75% - 100%	Organisasi siap untuk melengkapi QMS ISO 9001:2015 dan melakukan sertifikasi.
50% - 74%	Organisasi masih harus memperbaiki QMS untuk persiapan ISO 9001:2015
1% - 49%	QMS organisasi sangat butuh perbaikan karena berbeda jauh dari Sistem Manajemen Kualitas ISO 9001:2015

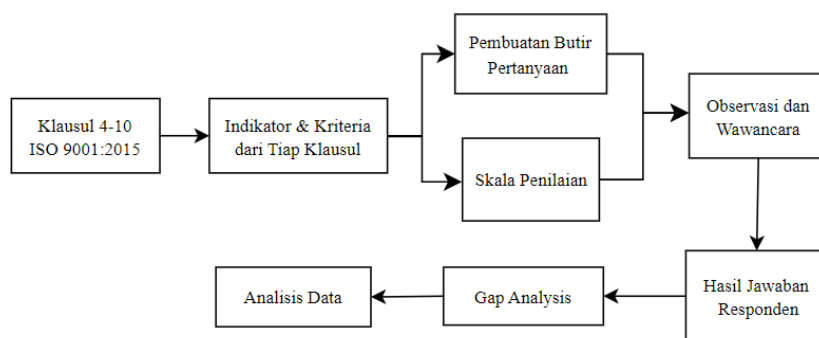
Sumber: Jurnal Gap Analisis Persiapan Implementasi ISO 9001:2015 pada PT Trans Power Marine, TBK

Tahap kedua yaitu pengolahan data. Pada penelitian ini, dilakukan menggunakan metode *gap analysis* dengan menghitung perbandingan skor setiap klausul antara keadaan yang sebenarnya terhadap keadaan yang seharusnya dicapai untuk dapat mengimplementasikan Sistem Manajemen Mutu. Setelah didapatkan persentase pencapaian untuk setiap klausulnya, dilakukan rata-rata persentase semua klausul guna mengetahui capaian kesiapan implementasi ISO 9001:2015 pada Pabrik Brem Solo.

Tahap ketiga yaitu analisis data. Analisis dilakukan berdasarkan hasil pengolahan data sistem manajemen mutu ISO 9001:2015 pada Pabrik Brem Solo. Tahap ini dilakukan guna mengetahui besarnya penyimpangan antara kondisi saat ini dengan persyaratan ISO 9001:2015 yang perlu untuk terpenuhi.

Tahap terakhir yaitu kesimpulan dan saran. Setelah selesai dilakukan analisis data, maka dapat ditarik kesimpulan dengan mengacu pada tujuan yang telah ditetapkan pada tahap identifikasi awal. Kemudian, saran yang berisi masukan dapat diberikan kepada pihak Pabrik Brem Solo.

Berikut merupakan *flowchart* penelitian kesiapan implementasi ISO 9001:2015 pada Pabrik Brem Solo.



Gambar 1. Flowchart Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Rekapitulasi Hasil

Pada Penelitian ini, pengumpulan data hasil wawancara penilaian kesiapan implementasi ISO 9001:2015 di Pabrik Brem Solo berjumlah 3 responden. Ketiga responden tersebut adalah *owner*, staf pemasaran, dan staf produksi dengan hasil penilaian sebagai berikut.

Tabel 3. Rekapitulasi Hasil

Klausul	Skor maksimal	Skor rata-rata
4	95	66,33
5	115	80,00
6	60	44,00
7	165	124,00
8	235	146,67
9	150	81,33
10	60	39,67

Hasil rekapitulasi tersebut diperoleh dari penilaian setiap pertanyaan atau pernyataan pada masing-masing klausul. Penilaian dilakukan menggunakan skala Likert 1-5 dengan kriteria tertentu. Dari kuesioner, didapatkan nilai rata-rata skor pada klausul 4 sebesar 66,33 dengan skor maksimal 95. Pada klausul 5, skor rata-rata adalah 80 dengan skor maksimal 115. Untuk klausul 6, skor rata-rata adalah 44 dengan skor maksimal 60. Pada klausul 7, skor rata-rata mencapai 124 dengan skor maksimal 165. Pada klausul 8, skor rata-rata adalah 146,67 dengan skor maksimal 235. Sedangkan pada klausul 9, skor rata-rata sebesar 81,33 dengan skor maksimal 150. Terakhir, pada klausul 10, skor rata-rata adalah 39,67 dengan skor maksimal 60.

3.2. Penilaian Kesiapan Implementasi ISO 9001:2015

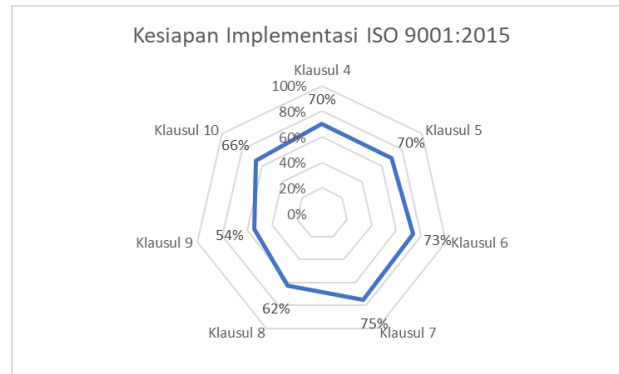
Penilaian kesiapan yang digunakan pada penelitian kali ini adalah metode *gap analisis*. *Gap analisis* di sini digunakan untuk mengetahui besar kesenjangan antara keadaan yang sebenarnya dengan standar kerja yang seharusnya dilakukan. Pada penelitian ini, dilakukan analisis kesenjangan klausul ISO 9001:2015 yang diterapkan di Pabrik Brem Solo. Berikut merupakan rumus penilaian klausul yang dikutip dari (Aripah Sita Apriani, 2022) dapat dilihat pada tabel di bawah.

$$\begin{aligned}
 \text{Persentase Penilaian} &= (\text{skor rata-rata} : \text{skor maksimal}) \times 100\% \\
 &= (66,33 : 95) \times 100\% \\
 &= 70\%
 \end{aligned}$$

Tabel 4. Penilaian Klausul

Klausul	Skor maksimal	Jumlah Pertanyaan	Skor rata-rata	Persentase Penilaian
4	95	19	66,33	70%
5	115	23	80,00	70%
6	60	12	44,00	73%
7	165	33	124,00	75%
8	235	47	146,67	62%
9	150	30	81,33	54%
10	60	12	39,67	66%
Total	880	176	582,00	67%

Berdasarkan tabel penilaian klausul tersebut, dilakukan *spider diagram* untuk mengetahui klausul mana yang memiliki kesenjangan terbesar jika dilihat dari diagram. Berikut merupakan *spider diagram* dari hasil penilaian klausul.



Gambar 2. Spider Diagram

Berdasarkan perhitungan tersebut, persentase penilaian untuk klausul 4, 5, 6, 8, 9, dan 10 berada di kisaran 50% - 74%. Ini menunjukkan bahwa organisasi masih perlu memperbaiki QMS untuk persiapan ISO 9001:2015. Sementara itu, klausul 7 memiliki persentase antara 75% - 100%, yang menandakan bahwa organisasi siap untuk melengkapi QMS ISO 9001:2015 dan melaksanakan sertifikasi. Secara keseluruhan, persentase rata-rata penilaian untuk semua klausul adalah 67%, yang berada di antara 50% - 74%. Hal ini menunjukkan bahwa organisasi masih perlu melakukan perbaikan pada QMS untuk persiapan ISO 9001:2015. Melihat dari *spider* diagram, semakin ke dalam bentuk grafik tersebut, semakin besar pula kesenjangan dalam kesiapan implementasi ISO 9001:2015 di Pabrik Brem Solo.

Dari hasil perhitungan gap analisis setiap klausul, dapat dilihat bahwa nilai persentase penilaian terkecil adalah klausul 9. Oleh karena itu, klausul 9 memiliki kesenjangan yang terbesar yaitu memperoleh penilaian sebesar 54% dikarenakan perusahaan belum memiliki program untuk melakukan audit terkait penerapan dan pemeliharaan sistem manajemen mutu. Maka, perusahaan belum bisa melakukan evaluasi secara umum terkait keberjalanan proses produksi hingga penjualan produk.

3.3. Analisis Performance

Pada klausul 4 (konteks organisasi), persentase penilaian kesiapan adalah 70%, menunjukkan bahwa organisasi masih perlu memperbaiki QMS untuk persiapan ISO 9001:2015. Ini disebabkan oleh belum adanya dokumen dan SOP produksi serta kurangnya analisis masalah di perusahaan. Pada klausul 5 (kepemimpinan), persentase kesiapan juga sebesar 70%, yang menunjukkan perlunya perbaikan QMS, ditandai dengan belum adanya pemantauan beban dan jadwal kerja untuk memastikan sumber daya yang memadai. Pada klausul 6 (perencanaan), persentase kesiapan sebesar 73% menunjukkan bahwa perusahaan hampir memenuhi kriteria untuk implementasi ISO 9001:2015, namun masih perlu merancang target untuk setiap departemen atau stasiun kerja. Klausul 7 (pendukung) memiliki persentase kesiapan 75%, yang menunjukkan bahwa perusahaan siap melengkapi QMS ISO 9001:2015 dan melakukan sertifikasi, sehingga perlu mempertahankan capaian seperti pemeliharaan peralatan dan infrastruktur. Pada klausul 8 (operasi), persentase kesiapan adalah 62%, yang menunjukkan perlunya perbaikan QMS, ditandai dengan kurangnya komunikasi dengan pelanggan (promosi) dan adanya barang retur karena tidak sesuai dengan pesanan. Pada klausul 9 (evaluasi kerja), persentase kesiapan sebesar 54% menunjukkan perlunya perbaikan QMS, dengan kebutuhan program untuk mengevaluasi kinerja perusahaan, seperti program audit dan evaluasi. Terakhir, pada klausul 10 (peningkatan), persentase kesiapan sebesar 66% menunjukkan bahwa perusahaan perlu meninjau penyebab ketidaksesuaian dan mengevaluasi kebutuhan perbaikan untuk persiapan ISO 9001:2015.

3.4. Usulan Perbaikan

Dari hasil pengolahan data diketahui klausul 9 memiliki persentase pencapaian kesiapan lebih rendah jika dibandingkan dengan klausul lainnya. Oleh karena itu, perusahaan perlu melakukan perbaikan agar perusahaan dapat melakukan implementasi ISO 9001:2015 tentang Sistem Manajemen Mutu. Perusahaan perlu merancang sebuah program untuk mengevaluasi kinerja pekerja agar mengalami peningkatan. Langkah awal yang dapat dilakukan, perusahaan dapat merencanakan program audit dan evaluasi dalam jangka waktu periodik, serta melaporkan hasil audit dan evaluasi kepada top manajemen. Dari laporan hasil audit dan evaluasi tersebut, perusahaan dapat memberikan tindakan perbaikan yang akan dilaksanakan pada periode berikutnya.

4. Simpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan penelitian ini, peneliti dapat menyimpulkan beberapa hasil penelitian. Secara keseluruhan penilaian kesiapan implementasi ISO 9001:2015 Sistem Manajemen Mutu di Pabrik Brem Solo mendapatkan sebesar 67% yang artinya Pabrik Brem Solo masih harus memperbaiki QMS untuk persiapan implementasi ISO 9001:2015. Perhitungan analisis kesenjangan yang terjadi di Pabrik Brem Solo hanya ada satu klausul saja yang sudah siap untuk melengkapi QMS ISO 9001:2015 dan melakukan sertifikasi yaitu klausul 7 sebesar 75%. Terdapat klausul yang memiliki penilaian kesiapan terkecil (memiliki gab tertinggi) dan harus dilakukan Perbaikan QMS untuk persiapan sertifikasi ISO 9001:2015 yaitu klausul 9 sebesar 54%. Hal tersebut dikarenakan perusahaan belum memiliki program untuk melakukan audit terkait penerapan dan pemeliharaan sistem manajemen mutu. Perusahaan perlu merancang sebuah program untuk mengevaluasi kinerja pekerja agar mengalami peningkatan. Langkah awal yang dapat dilakukan, perusahaan dapat merencanakan program audit dan evaluasi dalam jangka waktu periodik, serta melaporkan hasil audit dan evaluasi kepada top manajemen. Dari laporan hasil audit dan evaluasi tersebut, perusahaan dapat memberikan tindakan perbaikan yang akan dilaksanakan pada periode berikutnya.

Daftar Pustaka

- Aripah Sita Apriani, Puti Renosori. (2022). Analisis Gap Untuk Kesiapan Sertifikasi Sistem Manajemen Mutu. *Industrial Engineering Science*, 72-78.
- Hidayati, L., & Efriadi, A. R. (2022). Implementasi ISO 9001: 2015 Dalam Penjaminan Mutu Pada Perusahaan Jasa Inspeksi Teknik Ketenagalistrikan (Studi Kasus PT Deria Cahaya Gemilang). *Jurnal Inovasi Manajemen dan Bisnis (JIMB)*, 1(2), 78-88.
- Ramadhany, F. F., & Supriono. (2017). Analisis Penerapan Sistem Manajemen Mutu ISO 9001:2015 Dalam Menunjang Pemasaran (Studi pada PT Tritama Bina Karya Malang). *Jurnal Administrasi Bisnis (JAB)*, 53(1), 31-38.
- Dimas Raynaldo Dwi Putra, F. A. (2020). Pembangunan Persiapan ISO 9001:2015 Pada Sistem Manajemen Mutu Rumah Sakit Berbasis Web (Studi Kasus : Rumah Sakit Umum Daerah Gambiran Kota Kediri). *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 4271-4279.
- Muhammad Fidiandri Putra, E. S. (2019). Gap Analysis Persiapan Implementasi ISO 9001:2015 Pada PT. Trans Power Marine, Tbk,. *Jurnal Penelitian dan Aplikasi Sistem & Teknik Industri (PASTI)*, 149-153.
- Yudi Syahrullah, A. F. (2018). Analisis Kepuasan Pelanggan Terhadap Implementasi Iso 9001:2015 Dengan Menggunakan Pendekatan Servqual (Studi Kasus: Institut Teknologi Telkom Purwokerto). *Journal of Industrial Engineering and Management Systems*, 84-95.
- Bakhtiar, A. &. (2009). Analisis Implementasi Sistem Manajemen Kualitas ISO 9001:2000 Dengan Menggunakan Gap Analysis Tools. *Teknik Industri Undip*.

Jonathan Michael Fernando, B. P. (2017). Analisis Kesiapan Sertifikasi Iso 9001:2015 Pada PT. Wijara Nagatsupazki Dengan menggunakan Metode Gap Analysis. *Industrial Engineering*, 88-95.

Penilaian Kesiapan Implementasi Sistem Manajemen Mutu SNI/ISO 9001:2015 Menggunakan Metode *Gap Analysis*

Najla Dzakya Nur Haliza^{*1)}, Tanisa Adha Ningrum²⁾, Yashinta Putri Damayanti³⁾, dan Fakhrina Fahma⁴⁾

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami No. 36, Ketingan, Jebres, Surakarta, 57126, Indonesia
Email: najlakya@student.uns.ac.id

ABSTRAK

Usaha roti sedang digemari banyak orang terutama kalangan anak muda. Namun, di tengah persaingan yang ketat, penting bagi pengusaha untuk memastikan kualitas produk dan layanan mereka agar tetap konsisten dan memuaskan pelanggan. Maka dari itu, dilakukan penelitian untuk mengidentifikasi kesiapan dan pemahaman perusahaan dalam implementasi Sistem Manajemen Mutu ISO 9001:2015. Metode analisis yang dipakai untuk penelitian kali ini yaitu dengan metode *Gap Analysis*. Untuk keperluan penelitian, disiapkan kuesioner mengenai kesiapan implementasi Sistem Manajemen Mutu dengan 176 pertanyaan yang ditujukan pada responden. Penyebaran kuesioner dilakukan kepada 3 responden dengan jabatan *store manager*, asisten *store manager*, dan staf *sales counter*. Didapatkan besaran *gap* sebesar 69% dengan persyaratan yang memiliki kesenjangan paling tinggi adalah klausul 5 mengenai kepemimpinan. Menurut hasil penelitian, diketahui kesimpulan yang dapat diambil yaitu penerapan dari SNI/ISO 9001:2015 untuk kesiapan implementasi sistem manajemen mutu di Toko Roti XYZ harus diperbaiki.

Kata kunci: Sistem Manajemen Mutu, *Gap Analysis*, SNI/ISO 9001:2015

1. Pendahuluan

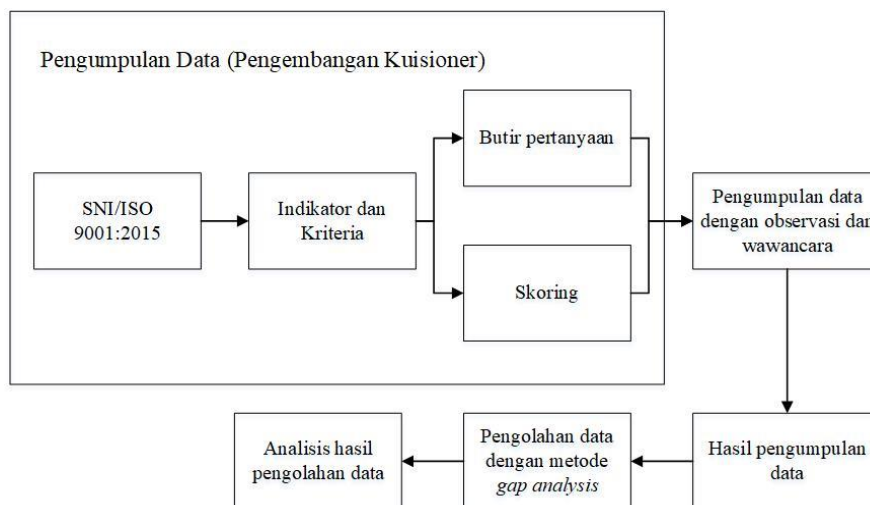
Di dalam dunia bisnis yang semakin kompetitif, salah satu faktor penentu utama yang memengaruhi keputusan pembelian konsumen adalah kualitas produk. Sebuah produk dengan kualitas terbaik yang dihasilkan telah memenuhi persyaratan kualitas yang ditetapkan. Di Indonesia, standar sistem manajemen mutu yang diadopsi adalah ISO 9001:2015, yang dikeluarkan oleh *International Organization for Standardization* dan diadopsi identik menjadi SNI ISO 9001:2015 oleh Badan Standarisasi Nasional (BSN) (Azfa & Solihah, 2023). SNI ini merupakan standar minimal yang harus dipenuhi untuk mengedarkan produk di wilayah Indonesia (Madjid & Sugianto, 2023). Produk yang melebihi standar ini akan lebih menarik bagi pelanggan karena kualitasnya yang lebih tinggi. Penerapan ISO 9001:2015 dalam perusahaan memerlukan pengajuan audit sertifikasi kepada Lembaga Sertifikasi Sistem Manajemen Mutu (LSSM) yang telah terakreditasi oleh Komite Akreditasi Nasional (KAN). Sistem ini terdiri dari berbagai macam kriteria dalam bentuk klausul 1-10 yang harus diterapkan oleh perusahaan. Meskipun banyak manfaat yang bisa didapat dari sertifikasi ISO, dalam praktiknya masih terdapat berbagai kendala baik dalam proses maupun setelah sertifikasi diperoleh (Wartuny, Lumeno, & Mandagi, 2018). Menurut data dari Kementerian Perindustrian, hanya sekitar 35% perusahaan di Indonesia yang sudah berhasil memperoleh sertifikasi ISO 9001:2015, sementara 65% lainnya masih berjuang dengan berbagai kendala. Salah satu masalah utama yang dihadapi adalah kurangnya komitmen dari pimpinan, yang sangat penting dalam memastikan keberhasilan implementasi standar mutu ini (Wartuny, Lumeno, & Mandagi, 2018). Oleh karena itu, penelitian ini melakukan kajian lebih dalam mengenai kesiapan Toko Roti XYZ dalam menggunakan ISO 9001:2015.

Toko Roti XYZ merupakan salah satu contoh perusahaan yang memproduksi roti, kue, *cookies*, dan semacamnya yang berlokasi di Jl. Yosodipuro No.52, Punggawan, Kec. Banjarsari,

Kota Surakarta. Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji kesiapan Toko Roti XYZ dalam menerapkan ISO 9001:2015 menggunakan metode *gap analysis*. *Gap analysis* digunakan untuk membandingkan situasi saat ini dengan kondisi yang diharapkan di masa mendatang. Metode ini efektif untuk mengidentifikasi area yang memerlukan perbaikan dan memberikan panduan langkah-langkah yang diperlukan untuk mencapai standar ISO/SNI 9001:2015. Melalui *gap analysis*, dapat diidentifikasi langkah-langkah yang diperlukan untuk menjembatani kesenjangan yang ada dan mencapai kondisi yang diinginkan sesuai dengan standar ISO/SNI 9001:2015. Tujuan dari penelitian ini antara lain mengidentifikasi kesiapan dan pemahaman perusahaan dalam implementasi Sistem Manajemen Mutu SNI/ISO 9001:2015 dan mengidentifikasi seberapa besar kesenjangan (*Gap*) antara persyaratan SNI/ISO 9001:2015 dengan praktik terhadap kesiapan implementasi Sistem Manajemen Mutu SNI/ISO 9001:2015 di Toko Roti XYZ. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi yang berguna bagi Toko Roti XYZ dalam upaya mencapai standar kualitas yang diinginkan.

2. Metode

Penelitian ini merupakan studi kasus pada Toko Roti XYZ yang dilakukan untuk mengidentifikasi kesiapan dan pemahaman perusahaan dalam implementasi Sistem Manajemen Mutu SNI/ISO 9001:2015 dan mengidentifikasi seberapa besar kesenjangan (*gap*) antara persyaratan SNI/ISO 9001:2015 dengan praktik terhadap kesiapan implementasi Sistem Manajemen Mutu SNI/ISO 9001:2015 di Toko Roti XYZ. Berikut merupakan *flowchart* penelitian kesiapan implementasi SNI/ISO 9001:2015 pada Toko Roti XYZ.



Gambar 1. Flowchart Penelitian

Tahap pengumpulan data dimulai dengan proses pembuatan desain kuesioner dari setiap klausul yang ada pada standar SNI/ISO 9001:2015, sebagai dasar penyusunan pertanyaan/pernyataan. Desain dan pengembangan kuesioner dibuat dengan tujuan untuk memastikan bahwa pertanyaan/pernyataan yang diberikan sesuai dengan tujuan penelitian dan menghasilkan data yang relevan (Putri, 2022). Desain dan pengembangan kuesioner diawali dengan menentukan variabel yang akan diteliti, penelitian ini diambil berdasarkan klausul yang terdapat pada SNI/ISO 9001:2015 yaitu klausul 4 – 10. Dalam setiap klausul tersebut, kemudian dibentuk beberapa kriteria yang merupakan inti ataupun poin-poin dalam penjelasan dari persyaratan dalam klausul. Setelah itu, dipecah lagi menjadi beberapa indikator sebagai pengembangan dari kriteria. Indikator digunakan untuk menyusun pertanyaan secara logis dan

kronologis yang akan diajukan kepada responden. Dalam setiap indikator tersebut disusun pertanyaan/ Pernyataan minimal 1. Selanjutnya, perancangan respon jawaban menggunakan skala *likert* 1-5 yang ditunjukkan pada tabel 1. Kemudian data dikumpulkan dengan mengimplementasikan kuesioner kepada target responden dengan wawancara dan observasi. Responden dipilih berdasarkan pengetahuan dan keterlibatannya dalam keberjalanan usaha toko roti, yaitu satu *store manager*, satu asisten *store manager*, dan satu staf *sales counter*.

Tahap pengolahan data dilakukan dengan menggunakan teknik analisis kesenjangan (*Gap Analysis*) untuk mengukur tingkat kesiapan dan pemahaman perusahaan dalam implementasi Sistem Manajemen Mutu SNI/ISO 9001:2015. *Gap analysis* digunakan untuk membandingkan situasi yang terjadi saat ini dengan kondisi yang diharapkan di masa mendatang (Mutmainah, 2023). Dalam penelitian ini dilakukan analisis kesenjangan antara klausul ISO 9001:2015 yang sudah diterapkan di perusahaan dengan klausul SNI/ISO 9001:2015 yang sebenarnya. Menurut Apriani A.S. & Renosori P. (2022), persentase penilaian klausul dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$\text{Persentase penilaian} = \frac{\text{Score Checklist}}{\text{Score maksimal}} \times 100 \quad (1)$$

Langkah-langkah dalam melakukan *Gap Analysis* dilakukan dengan penentuan skor, penilaian *check sheet*, dan penilaian *gap*. Nilai/skor yang akan digunakan pada *Gap Analysis* adalah sebagai berikut.

Tabel 1. *Score GAP Analysis*

Score	Pengertian
1	Jika suatu organisasi tidak memahami apa yang diperlukan dan tidak melakukan hal tersebut.
2	Jika suatu organisasi memahami pentingnya aktivitas tersebut, namun tidak melakukannya.
3	Jika suatu organisasi memiliki dokumen akan tetapi belum diterapkan atau dilakukan tapi tidak dicatat.
4	Jika suatu organisasi atau perusahaan melakukan aktivitas tetapi tidak konsisten.
5	Jika suatu organisasi melakukan aktivitas dengan baik dan dilakukan secara konsisten.

(Sumber: Ikhtiar et al., 2023)

Penilaian *check sheet* akan dilakukan oleh responden berdasarkan kondisi organisasi/perusahaan saat ini, dimana responden yang dipilih yaitu responden yang cukup kompeten (Rofiq, 2021). Melalui *check sheet* analisis *gap*, proses analisis unsur-unsur persyaratan ISO akan menjadi lebih mudah (Yoshana, 2022). Penilaian dilakukan berdasarkan ketentuan *scoring* sesuai tabel 1 di atas. Selanjutnya dilakukan penilaian *gap*. Tujuan penilaian *gap* dilakukan untuk mengetahui seberapa besar *gap* atau kesenjangan dalam perusahaan. Persentase diperoleh melalui penjumlahan *score* setiap variabel dan membaginya dengan nilai maksimal dari variabel tersebut. Jadi, semakin kecil nilai *gap* yang ada dalam perusahaan, maka semakin baik (Nurfida et al., 2020). Nilai persentase menunjukkan seberapa besar kesiapan perusahaan dalam pengimplementasian SNI/ISO 9001:2015. Berikut tabel *range* dari *GAP Analysis*:

Tabel 2. Range GAP Analysis

Persentase	Variabel
75% - 100%	Organisasi siap untuk melengkapi QMS ISO 9001:2015 dan melakukan sertifikasi.
50% - 74%	Organisasi masih harus memperbaiki QMS untuk persiapan ISO 9001:2015
1% - 49%	QMS organisasi sangat butuh perbaikan karena berbeda jauh dari Sistem Manajemen Kualitas ISO 9001:2015.

(Sumber: Fernando et al., 2017)

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Penilaian Kesiapan Implementasi ISO 9001:2015

Untuk menilai tingkat kesiapan dalam implementasi standar manajemen mutu SNI/ISO 9001:2015, alat ukur yang digunakan adalah kuesioner. Perancangan kuesioner ini dilakukan dengan merincikan setiap klausul yang ada dalam SNI/ISO 9001:2015. Dalam setiap klausul tersebut, dibagi lagi menjadi kriteria dan indikator yang merupakan inti dari penjelasan yang diperlukan dalam klausul. Setelah itu, dapat ditentukan pertanyaan atau pernyataan yang akan diberikan pada perusahaan dalam bentuk kuesioner. Dalam penelitian ini, kuesioner dibagikan kepada perusahaan XYZ dengan 3 responden, yaitu satu *store manager*, satu asisten *store manager*, dan satu staf *sales counter*.

Berdasarkan hasil rekapitulasi kuesioner, dapat diketahui skor penilaian dari setiap klausul. Dalam pengisian kuesioner, diperlukan skala yang digunakan untuk mengukur penilaian kesiapan implementasi standar manajemen mutu SNI/ISO 9001:2015. Skala dan kriteria yang dipakai dapat dilihat pada Tabel 1.

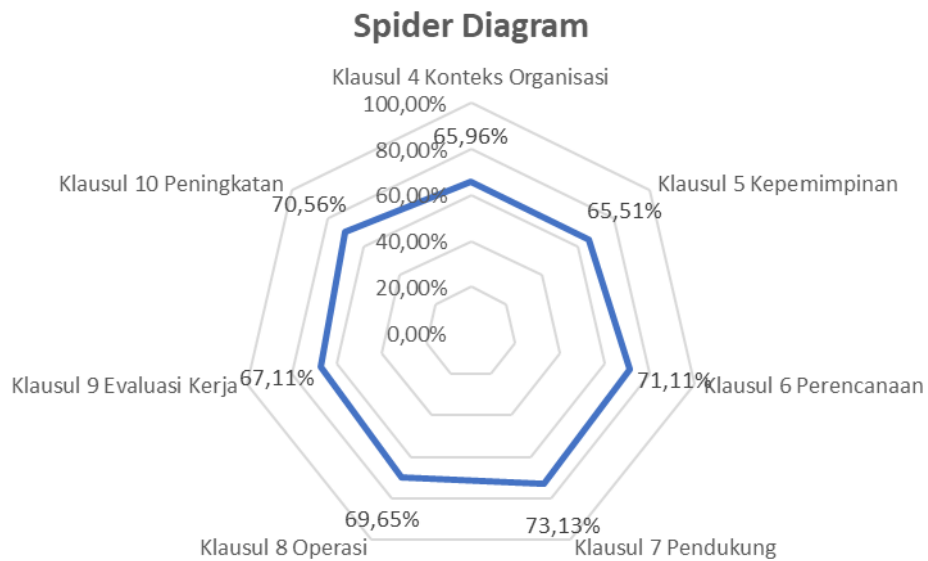
Setelah melakukan rekapitulasi hasil kuesioner, kemudian dilakukan perhitungan pada setiap klausul. Skor setiap pernyataan dalam suatu klausul dijumlah sehingga didapatkan skor pencapaian pada tiap responden. Kemudian, dari ketiga skor pencapaian dalam satu klausul dilakukan rata-rata. Sedangkan skor maksimal didapatkan dari jumlah pernyataan yang ada dalam satu klausul dikali dengan skala tertinggi yaitu 5. Lalu, persentase penilaian didapatkan dari skor rata-rata dibagi dengan skor maksimal dikali 100%. Kesiapan perusahaan dinilai dari persentase indikator yang dipenuhi. Berikut ini merupakan rekapitulasi perhitungan persentase pemenuhan indikator.

Tabel 3. Rekapitulasi Penilaian Pada Tiap Klausul

Klausul	Jumlah Pertanyaan	Skor Maksimal	Skor Rata-rata	Persentase Penilaian
Klausul 4 Konteks Organisasi	19	95	62,67	65,96%
Klausul 5 Kepemimpinan	23	115	75,33	65,51%
Klausul 6 Perencanaan	12	60	42,67	71,11%
Klausul 7 Pendukung	33	165	120,67	73,13%
Klausul 8 Operasi	47	235	163,67	69,65%
Klausul 9 Evaluasi Kerja	30	150	100,67	67,11%
Klausul 10 Peningkatan	12	60	42,33	70,56%
Total	176	880	608	69,00%

Dari hasil tabel di atas, kemudian dilakukan pembuatan *spider diagram*. *Spider diagram* adalah suatu metode grafik yang digunakan untuk menggambarkan data multivariabel dalam bentuk grafik dua dimensi dari tiga atau lebih variabel kuantitatif yang direpresentasikan pada suatu sumbu yang dimulai dari titik yang sama (Bahrul Ulum Ilham, 2022). Dari *spider diagram*

tersebut, nantinya akan diketahui klausul mana yang memiliki kesenjangan terbesar. Berikut ini merupakan *spider diagram* berdasarkan penilaian tiap klausul.



Gambar 2. *Spider Diagram* dari Penilaian Tiap Klausul

Pada *spider diagram* diketahui bahwa semakin luas atau semakin besar area yang tercakup dalam spider diagram, semakin baik kinerja atau pemenuhan organisasi terhadap berbagai klausul ISO 9001:2015. Sebaliknya, area yang sempit menunjukkan bahwa ada beberapa klausul yang kinerjanya perlu ditingkatkan. Berdasarkan *spider diagram* di atas, dapat diketahui bahwa nilai persentase penilaian tertinggi terdapat pada klausul 7 yakni sebesar 73,13%. Dengan begitu, klausul 7 dijadikan sebagai kekuatan perusahaan dalam melakukan pemenuhan standar SNI ISO 9001:2015. Sedangkan, nilai persentase penilaian terendah terdapat pada klausul 5 yakni sebesar 65,51%. Dengan begitu, klausul 5 menjadi kelemahan perusahaan dalam melakukan pemenuhan standar SNI ISO 9001:2015. Hal tersebut menjadi perhatian lebih bagi perusahaan untuk meningkatkan standar.

Berdasarkan pengolahan data yang telah dilakukan, persentase pemenuhan persyaratan pada tiap klausul maupun untuk perusahaan berada pada rentang 50%-74%. Persentase tersebut menunjukkan bahwa organisasi masih harus memperbaiki *Quality Management System* untuk persiapan ISO 9001:2015. Dengan begitu, dapat diketahui juga bahwa masih adanya *gap* yang terjadi pada perusahaan. Dengan adanya ketidaksesuaian berdasarkan *spider diagram* di atas, maka perusahaan harus lebih berkomitmen lagi dalam penerapan ISO 9001:2015 untuk dapat merasakan dampak nyata dari penerapan ISO dan juga dapat memenuhi kepuasan pelanggan.

3.2 Analisis Performance

Berdasarkan hasil perhitungan *gap analysis* pada setiap klausul, pada klausul 4 (Konteks Organisasi) memperoleh nilai sebesar 65,96% dan termasuk dalam *range gap analysis* kedua yang menyatakan bahwa organisasi masih harus memperbaiki QMS untuk persiapan ISO 9001:2015. Hal tersebut dikarenakan perusahaan belum memiliki informasi yang terdokumentasi secara formal dalam bentuk seperti grafik, cerita, intruksi tertulis, *checklist*, diagram alir, media visual, atau lain sebagainya, agar dapat mendeskripsikan proses. Pada klausul 5 (Kepemimpinan) memperoleh nilai sebesar 65,51% dan termasuk dalam *range gap analysis* kedua yang menyatakan bahwa organisasi masih harus memperbaiki QMS untuk persiapan ISO 9001:2015. Hal tersebut ditunjukkan pada perusahaan yang belum mempromosikan pendekatan proses dan

pemikiran berbasis risiko. Pada klausul 6 (Perencanaan) memperoleh nilai sebesar 71,11% dan termasuk dalam *range gap analysis* kedua yang menyatakan bahwa organisasi masih harus memperbaiki QMS untuk persiapan ISO 9001:2015. Hal tersebut ditunjukkan pada perusahaan yang kurang mendokumentasikan hasil peninjauan yang telah dilakukan. Pada klausul 7 (Pendukung) memperoleh nilai sebesar 73,13% dan termasuk dalam *range gap analysis* kedua yang menyatakan bahwa organisasi masih harus memperbaiki QMS untuk persiapan ISO 9001:2015. Hal tersebut disebabkan karena perusahaan masih kurang rutin melakukan pertemuan mengenai pelatihan dan pengembangan mutu. Pada klausul 8 (Operasi) memperoleh nilai sebesar 69,65% dan termasuk dalam *range gap analysis* kedua yang menyatakan bahwa organisasi masih harus memperbaiki QMS untuk persiapan ISO 9001:2015. Hal tersebut ditunjukkan pada perusahaan yang belum memiliki mekanisme pengendalian desain dan pengembangan. Pada klausul 9 (Evaluasi Kerja) memperoleh nilai sebesar 67,11% dan termasuk dalam *range gap analysis* kedua yang menyatakan bahwa organisasi masih harus memperbaiki QMS untuk persiapan ISO 9001:2015. Hal tersebut karena perusahaan belum mendokumentasikan perubahan isu yang terjadi dan dapat berdampak pada sistem manajemen mutu sebagai pertimbangan saat ingin melakukan manajemen *review*. Pada klausul 10 (Peningkatan) memperoleh nilai sebesar 70,56% dan termasuk dalam *range gap analysis* kedua yang menyatakan bahwa organisasi masih harus memperbaiki QMS untuk persiapan ISO 9001:2015. Hal tersebut terjadi karena perusahaan masih kurang memiliki kemampuan merespon keluhan secara tanggap dan cepat.

Dari penilaian tiap klausul, persentase tertinggi terdapat pada klausul 7 mengenai pendukung yang bernilai 73,13% dan persentase klausul terendah terdapat pada klausul 5 mengenai kepemimpinan yang bernilai 65,51%.

3.3 Usulan Perbaikan

Berdasarkan hasil penilaian kuesioner, diketahui persentase paling rendah yaitu pada klausul 5. Hal tersebut menjadi kelemahan bagi perusahaan untuk melakukan implementasi Sistem Manajemen Mutu dari ISO 9001:2015. Maka dari itu, perlunya usulan perbaikan untuk meningkatkan penilaian tersebut. Usulan perbaikan yang dapat diberikan yaitu:

- a. Pelatihan dan Pengembangan Kompetensi
 - Pelatihan Khusus: Menyelenggarakan pelatihan khusus untuk para pemimpin dan manajer tentang pentingnya pendekatan proses dan pemikiran berbasis risiko dalam konteks ISO 9001:2015. Pelatihan ini dapat mencakup studi kasus nyata dan simulasi untuk memperkuat pemahaman.
 - *Workshop* Berkala: Mengadakan *workshop* berkala yang fokus pada praktik terbaik dalam manajemen mutu, serta bagaimana mengintegrasikan pendekatan proses dan pemikiran berbasis risiko ke dalam aktivitas sehari-hari.
- b. Peningkatan Komunikasi Internal:
 - Rapat Rutin: Melaksanakan rapat rutin antara manajer dan karyawan untuk membahas isu-isu terkait risiko dan peluang dalam proses bisnis. Rapat ini dapat diikuti dengan sesi diskusi untuk mencari solusi bersama.
 - Forum Komunikasi: Membentuk forum komunikasi atau tim kerja khusus yang terdiri dari perwakilan berbagai departemen untuk mendiskusikan dan menyelesaikan masalah-masalah terkait implementasi ISO 9001:2015.
- c. Pemberdayaan Karyawan:
 - Program Pelibatan Karyawan: Mengembangkan program pelibatan karyawan yang mendorong mereka untuk aktif dalam proses identifikasi dan mitigasi

risiko. Ini bisa berupa sesi *brainstorming*, kompetisi ide, atau penghargaan untuk ide-ide inovatif yang diterapkan.

- Sistem Umpan Balik: Menerapkan sistem umpan balik yang memungkinkan karyawan memberikan masukan secara anonim tentang kelemahan yang mereka lihat dalam proses bisnis dan sistem manajemen mutu.

Dengan langkah-langkah konkret ini, diharapkan Toko Roti XYZ dapat mengatasi kesenjangan yang ada dan meningkatkan kesiapan mereka dalam mengimplementasikan Sistem Manajemen Mutu SNI/ISO 9001:2015 secara efektif.

4 Simpulan

Berdasarkan hasil *gap analysis*, tingkat kesiapan Toko Roti XYZ dalam implementasi ISO 9001:2015 memperoleh nilai sebesar 69%. Persentase ini menunjukkan bahwa perusahaan memiliki pemahaman dan kesiapan yang cukup signifikan dalam penerapan Sistem Manajemen Mutu ISO 9001:2015, namun masih ada ruang untuk perbaikan. Organisasi perlu meningkatkan beberapa aspek dari *Quality Management System (QMS)* mereka untuk sepenuhnya siap dan mematuhi standar ISO 9001:2015. Supaya dapat memenuhi persyaratan ISO 9001:2015 dan merasakan manfaatnya secara maksimal, perusahaan perlu melakukan pelatihan khusus untuk para pemimpin dan manajer tentang pentingnya pendekatan proses dan pemikiran berbasis risiko dalam konteks ISO 9001:2015. Selain itu, bisa meningkatkan komunikasi antara manajer dan karyawan karena melibatkan karyawan dalam proses identifikasi dan mitigasi risiko bisa meningkatkan rasa memiliki dan komitmen mereka terhadap inisiatif ini.

Daftar Pustaka

- Apriani, A. S., Renosori, P. (2022). Analisis GAP untuk Kesiapan Sertifikasi Sistem Manajemen Mutu ISO 9001:2015 di CV Ardian. *Jurnal Perancangan Sistem Manajemen Mutu*, 72-78.
- Aristi, I. (2019). *Pengembangan Sistem Manajemen Mutu ISO 9001:2008 Menjadi ISO 9001:2005 di UPTD RPH Terpadu Dinas Pertanian Kota Bogor*.
- Azfa, M. F., & Solihah, R. H. (2023). Penerapan Sistem Manajemen Mutu ISO 9001:2015 dalam Mendukung dan Menunjang Pemasaran Produk. *Journal Of Information System and Management*, 10-24.
- Eden, L. B. (2015). *Dampak Implementasi ISO 9001:2008 Terhadap Kinerja Divisi Purchasing di PT. Spektra Megah Semesta Cabang Surabaya*.
- Fernando, J. M., Purwanggono, B, Wicaksono, P. A. (2017). Analisis Kesiapan Sertifikasi ISO 9001:2015 pada PT. Wijara Nagatsupazki dengan Menggunakan Metode Gap Analysis. *Industrial Engineering Online Journal*, vol. 6 (2), 1-10.
- Ibrohim, L. &. (2015). ISO-9001: 2015 FDIS, Penjelasan Klausul-Klausul. *PT. Gunastara*.
- Ikhtiar, I., Orgianus, Y., Bachtiar, I. (2023). Perancangan Sistem Manajemen Mutu (SMM) Berdasarkan ISO 9001:2015 dan Hasil Gap Analysis. *Jurnal Riset Teknik Industri (JRTI)*. 43-50.
- J. M. Fernando, B. Purwanggono, P. A. Wicaksono. (2017). Analisis Kesiapan Sertifikasi ISO 9001:2015 pada PT. Wijara Nagatsupazki dengan Menggunakan Metode Gap Analysis. *Industrial Engineering Online Journal*, vol. 6 (2), 1-10.
- Madjid, N. V., & Sugianto, G. (2023). Penerapan Unsur Tindak Pidana oleh Penyelidikan terhadap Pilihan Usaha yang Mengedarkan Barang Tidak Memenuhi Standar Nasional Indonesia. *UNES Journal of Swara Justisia*, 43-51.

- Murnan, Kiki Yulianto, Umar. (2022). Evaluasi Kinerja Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Lombok Timur Berbasis ISO 9001:2015. *Jurnal Ranah Publik Indonesia Kotemporer*, 130-149.
- Mutmainah, I., Yulia, I., A., Mahfudi, A. Z., Marnilin, F. (2022). Gap Analysis Untuk Mengetahui Kinerja Implementasi Program Merdeka Belajar Kampus Merdeka. *Jurnal Ilmiah Manajemen Kesatuan*. 19-34.
- Nurfida, A., Putra, M. F., Usman, R. (2020). GAP Analysis Implementasi ISO 14000 pada PT. Citra Abadi Sejati. *Jurnal Penelitian dan Aplikasi Sistem & Teknik Industri (PASTI)*, Vol. XIV, No. 2, 157-166.
- Putri, E. F. P. (2022). Penyusunan Kuisisioner dalam Penelitian. Universitas Padjadjaran Bandung.
- Priadi, A. A. (2020). Penelitian Terapan Bidang Pelayaran dengan Metode *Gap Analysis*.
- Rofiq, A. (2021). Analisis Kesiapan Sertifikasi Iso 9001:2015 Dengan Metode Gap Analysis Tools Pada CV Berkah Bersama Putra. *Scientifict Journal of Industrial Engineering*. Vol 2 (2).
- Salim, A. (2011). Pengendalian Kualitas dengan Metode Acceptance Sampling. *Jurnal Teknik dan Manajemen Industri*.
- Siti Aisyah, Austin Alexander Parhusip, Irene Ika Wardani. (2023). Analisis Efektivitas Penerapan Audit Mutu Internal Menggunakan ISO 9001:2015 Pada PT. Anugerah Indo Maritim Sejahtera. *Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, 139-148.
- Utomo, F., & Rahardjo, J. (2022). Perancangan dan Pembaharuan Dokumen Sertifikasi IO 9001:2015 pada PT.X. *Jurnal Titra*, 169-176.
- Vera, & Wella. (2019). Evaluasi Kualitas Manajemen Mutu pada PT Intikom Berlian Mustika dengan menggunakan IO 9001:2015. *ULTIMA InfoSys*, 9-18.
- Wartuny, W. R., Lumeno, S., & Mandagi, R. (2018). Model Penerapan Sistem Manajemen Mutu Berbasis IOS 9001:2015 pada Kontraktor di Provinsi Papua Barat. *Jurnal Sipil Statik*, 579-588.
- Yanuariska, C., & Miharti, R. (2017). Persiapan Audit Sistem Manajemen Mutu (SMM) ISO 9001:2015 RSJD Dr. RM. Soedjarwadi Provinsi Jawa Tengah Pada Instalasi Rekam Medis. *Jkesvo (Jurnal Kesehatan Vokasional)*, 205-213.
- Yoshana, A., Putra, M. F., Setiowati, R. (2022). Gap Analysis Penerapan Sistem Manajemen K3 ISO 45001:2018 Di PT. Citra Abadi Sejati (CAS). *Jurnal Teknologi dan Manajemen*, Vol 20 (1). 17-26.

Penilaian Kesiapan Implementasi Standar Manajemen Mutu ISO 9001:2015 Studi Kasus CV. Pratama Dengan Menggunakan Metode *Gap Analysis*

Kanaya Aurellia Hanieputri^{*1)}, Bunga Ayu Maharani²⁾, Yasmin Zulfa Agustin A³⁾, dan Fakhrina Fahma⁴⁾

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami No. 36, Ketingan, Jebres, Surakarta, 57126, Indonesia

Email: kanayaurellia@student.uns.ac.id

ABSTRAK

Di era globalisasi ini, meningkatkan mutu produk dan layanan adalah kunci agar dapat memenangkan persaingan pasar. Sistem manajemen mutu ISO 9001:2015 bisa membantu CV Pratama, sebuah perusahaan plastik sablon, dalam mencapai tujuan tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kesiapan CV Pratama dalam menerapkan ISO 9001:2015 dengan menggunakan metode *Gap Analysis*. Penelitian dimulai dengan tinjauan literatur untuk memperdalam pemahaman mengenai ISO 9001:2015. Selanjutnya, sebuah *Gap Analysis Checklist* disusun untuk mengidentifikasi perbedaan antara praktik yang ada dan persyaratan ISO 9001:2015. Data diperoleh melalui survei kepada pihak CV Pratama. Hasil analisis menunjukkan bahwa CV Pratama masih perlu memperbaiki sistem manajemen mutu mereka, dengan penilaian mencapai 72%, yang menunjukkan bahwa 50-74% organisasi perlu melakukan perbaikan pada sistem manajemen mutu untuk persiapan penerapan ISO 9001:2015.

Kata kunci: *Gap Analysis*, ISO 9001:2015, kualitas

1. Pendahuluan

Menyediakan produk dan layanan berkualitas merupakan kunci utama dalam memenangkan persaingan di pasar. Perusahaan dituntut untuk meningkatkan kualitas mutu agar dapat bersaing dengan perusahaan lain di dalam era globalisasi saat ini (Rofiq, 2021). Kualitas adalah faktor utama dalam memimpin persaingan. Untuk bertahan dalam persaingan bisnis, baik di pasar domestik maupun global, perusahaan harus mampu meningkatkan kualitas produknya guna mencapai kepuasan pelanggan (Insani et al., 2023). Salah satu langkah yang dapat dilakukan perusahaan adalah menerapkan sistem manajemen mutu. Sistem manajemen mutu adalah kumpulan kebijakan terdokumentasi dan praktik standar yang digunakan untuk mengelola sistem, memastikan keteraturan proses dan produk sesuai dengan kebutuhan atau persyaratan tertentu. (Semuel et al., 2011). Salah satu sistem manajemen mutu yang dikembangkan Organisasi Internasional untuk standarisasi (*International Organization for Standardization*) adalah ISO 9001:2015. Standar ini berisi kerangka kerja untuk menginisiasi, mengimplementasikan, memelihara, dan meningkatkan sistem manajemen mutu dalam suatu organisasi (Handayani et al., 2024). Salah satu standar yang dapat diterapkan CV Pratama sebagai perusahaan plastik sablon adalah ISO 9001:2015.

ISO 9001:2015 adalah revisi dari ISO 9001:2008 dan merupakan salah satu standar sistem manajemen mutu yang paling banyak diterapkan di dunia. ISO 9001:2015 berfokus pada kinerja perusahaan dengan pendekatan pemikiran berbasis risiko dan siklus PDCA (*Plan-Do-Check-Act*) yang diterapkan di seluruh tingkat organisasi (Halim & Felecia, 2015). ISO 9001:2015 membantu organisasi mencapai target kualitas yang diinginkan, memberikan kepercayaan kepada mitra dan evaluasi produk, serta meningkatkan produktivitas, kapabilitas perusahaan, dan daya saing. Penerapan ISO 9001:2015 juga mendukung pencegahan

penurunan kualitas produk, mempertimbangkan kepuasan pelanggan, dan meningkatkan permintaan pasar. (Silalahi et al., 2023).

Perancangan ISO 9001:2015 dimulai dengan melakukan studi literatur untuk memperdalam pemahaman tentang standar tersebut. Selanjutnya, dibuatlah *gap analysis checklist* yang berfungsi mengidentifikasi perbedaan antara peraturan tertulis yang ada dan proses yang dijalankan berdasarkan persyaratan ISO 9001:2015. Alat *gap analysis* diberikan kepada individu-individu yang berpotensi menjadi informan untuk mengumpulkan data penelitian. Hasil *checklist* kemudian dihitung dan kesenjangan diidentifikasi melalui skor penentu gap (Putra et al., 2019).

Gap analysis adalah aktivitas membandingkan dua jenis data dan mengidentifikasi perbedaannya. Biasanya digunakan untuk membandingkan kondisi tertentu dan disusun berdasarkan bidang, topik, atau kategori tertentu, menjadikannya efisien dalam menentukan sektor mana yang perlu diperbaiki. *Gap analysis* dianggap efektif karena menggunakan *checklist* yang terstruktur dan sesuai dengan tujuan subjek. *Checklist* ini mencakup semua persyaratan dan dibuat dalam bentuk hierarki, mencakup pertanyaan-pertanyaan umum yang memberikan gambaran menyeluruh tentang topik atau kategori yang dinilai (Purwanggono et al., 2018). Tujuan penggunaan metode *gap analysis* adalah untuk menganalisis kondisi perusahaan saat ini dan membandingkannya dengan kondisi ideal perusahaan, guna mengetahui kesiapan perusahaan dalam memperoleh sertifikasi ISO 9001:2015 (Fernando et al., 2017).

Penggunaan analisis gap ISO 9001:2015 diaplikasikan pada berbagai jenis perusahaan. Contoh penelitian menunjukkan penerapan ISO 9001:2015 pada perusahaan di bidang industri air mineral yang dilakukan oleh Yoan Crismanto dan Sunday Noya (2018) dengan judul “Analisis Kesenjangan Terhadap Penerapan Sistem Manajemen Mutu ISO 9001:2015 Pada CV. Tirta Mangkok Merah” mengatakan bahwa analisis Gap yang dilakukan digunakan untuk mengidentifikasi gap yang terjadi antara prosedur tertulis dengan proses nyata yang terjadi di lapangan dan menemukan sejauh mana penerapan SMM ISO 9001:2015 telah dijalankan oleh perusahaan. Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Yunita Primasanti dan Rachmat Hendratmoko (2021) dengan judul “Analisis ISO 9001:2015 PT Panca Bintang Tunggal Sejahtera Dengan Menggunakan Metode Gap Analysis” mengenai ISO 9001:2015 di perusahaan manufaktur menyatakan bahwa *Gap Analysis* digunakan dalam penelitian ini Untuk menganalisis kondisi perusahaan saat ini dan membandingkannya dengan kondisi yang ideal, dilakukan perbandingan antara sistem yang ada dengan sistem yang diperlukan. Dengan demikian, kekurangan sistem yang ada dapat diidentifikasi dan diperbaiki.. Penelitian yang dilakukan Sihombing dkk (2017) dengan judul “Analisis Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Keberhasilan Implementasi ISO 9001:2015 Pada Industri Manufaktur”. Penelitian ini mengkaji pentingnya penerapan ISO 9001:2015 di industri manufaktur karena standar ini dapat memberikan jaminan kualitas produk dan menjadi faktor peningkatan produktivitas serta efisiensi proses dan biaya. Melalui pendekatan berbasis risiko, perusahaan dapat lebih proaktif dalam mencegah dan mengurangi kejadian yang tidak diinginkan serta terus menerus memperbaiki sistem.

CV Pratama merupakan industri yang bergerak di bidang plastik sablon. CV Pratama pada saat ini belum memiliki sistem manajemen mutu yang baik dan tersertifikasi berdasarkan ISO 9001:2015. Apabila perusahaan belum melakukan pemenuhan sertifikasi ISO 9001:2015, dapat berdampak dengan hilangnya calon konsumen atau bahkan terdapat pengembalian produk dari konsumen yang terjadi akibat kesalahan produksi baik dari kualitas maupun kuantitas (Edbert & Rahardjo, 2024). Maka dari itu, sebelum menerapkan ISO 9001:2015,

penting untuk menilai kesiapan CV Pratama. Penilaian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kesenjangan antara praktik yang ada dengan persyaratan ISO 9001:2015, mengembangkan rencana implementasi yang efektif, dan meningkatkan peluang keberhasilan implementasi.

Pada Tabel 1, ditampilkan data cacat pesanan CV Pratama selama periode Januari-Desember 2024. Menanggapi data ini, penerapan sistem manajemen mutu ISO 9001:2015 perlu dilakukan agar CV Pratama dapat meningkatkan kualitas produk dan layanannya, serta meningkatkan daya saing di pasar. Penilaian kesiapan implementasi standar ISO 9001:2015 dengan metode *Gap Analysis* dapat membantu CV Pratama mencapai tujuan tersebut.

Tabel 1. Data Produksi dan Cacat Plastik Sablon CV Pratama

Produksi dan Cacat Plastik Sablon CV Pratama Tahun 2023					
Bulan	Produksi	Cacat 1	Cacat 2	Presentase Cacat 1	Presentase Cacat 2
Januari	8000	43	33	0.5%	0.4%
Februari	7700	27	31	0.4%	0.4%
Maret	7500	46	23	0.6%	0.3%
April	7800	35	22	0.4%	0.3%
Mei	7500	33	36	0.4%	0.5%
Juni	7500	27	26	0.4%	0.3%
Juli	7900	47	24	0.6%	0.3%
Agustus	7600	44	35	0.6%	0.5%
September	7500	55	44	0.7%	0.6%
November	7900	39	25	0.5%	0.3%
Desember	7900	33	23	0.4%	0.3%
Rata-Rata				0.5%	0.4%

Keterangan:

Cacat 1 = Tinta yang meleber
Cacat 2 = Plastik sobek

2. Metode

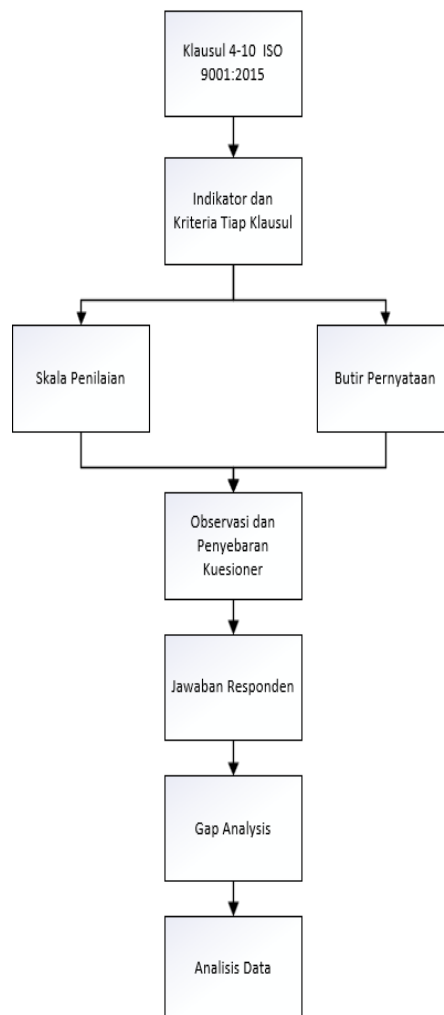
Penelitian ini berawal dari identifikasi awal melalui studi lapangan dan literatur, perumusan masalah, penentuan tujuan dan manfaat, serta batasan masalah. Selanjutnya, dilakukan pengumpulan data menggunakan kuesioner. Proses perancangan kuesioner dimulai dengan menentukan variabel-variabel dari setiap klausul ISO 9001:2015. Setelah itu, dilakukan identifikasi untuk mencari kriteria dan indikator, yang kemudian dikembangkan menjadi beberapa pernyataan atau pertanyaan untuk dijawab oleh responden. Data dikumpulkan melalui penyebaran kuesioner kepada empat pihak terkait, yaitu pemilik CV Pratama, satu sekretaris, dan dua karyawan produksi. Respon kuesioner dirancang menggunakan skala Likert 1 sampai 5, dengan penjelasan yang telah dijabarkan pada Bab II, yaitu tinjauan pustaka. Proses pengumpulan data ini dilakukan pada tanggal 13 April 2024. Berikut adalah skala penilaian yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 2. Skala Penilaian

Level	Karakteristik
1	Persyaratan tidak diterapkan sesuai dengan ketentuan tertulis. Perusahaan masih membutuhkan pelatihan khusus untuk penerapannya.
2	Ada persyaratan yang belum dijalankan, namun beberapa persyaratan sudah diterapkan meskipun tidak terdokumentasi.
3	Beberapa persyaratan telah dijalankan tetapi belum konsisten.
4	Persyaratan sudah diterapkan tetapi belum konsisten.
5	Persyaratan telah diterapkan dengan baik.

Pada tahap pengolahan data, langkah pertama yang dilakukan adalah menyusun *checklist gap analysis* yang bertujuan untuk mengidentifikasi kesenjangan antara prosedur tertulis dan proses yang dilakukan. Setelah itu, data dari *checklist gap analysis* dikumpulkan dan diberi bobot untuk menunjukkan kesiapan perusahaan dalam menerapkan sistem manajemen kualitas ISO 9001:2015. Selanjutnya, kesenjangan dihitung dan ditentukan menggunakan skor penentu gap. Terakhir, disusun usulan dan upaya pelaksanaan sistem manajemen kualitas ISO 9001:2015 untuk memperbaiki kesenjangan yang ditemukan.

Berikut merupakan *flowchart* metode pada Penilaian Kesiapan Implementasi Standar Manajemen Mutu ISO 9001:2015 Studi Kasus Cv. Pratama Dengan Menggunakan Metode *Gap Analysis*.



Gambar 1. *Flowchart* Metode

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Rekapitulasi Hasil

Pengumpulan data pada penelitian ini merupakan hasil wawancara di CV Pratama terkait penilaian kesiapan implementasi ISO 9001:2015 dengan jumlah responden 4 yang terdiri dari *owner*, sekretaris, dan dua staf produksi. Berikut merupakan rekapitulasi hasil penilaian.

Tabel 3. Rekapitulasi Hasil Penilaian

Klausul	Skor Rata-rata	Skor Maksimal
Klausul 4. Konteks Organisasi	62.50	95
Klausul 5. Kepemimpinan	78.25	115
Klausul 6. Perencanaan	45.50	60
Klausul 7. Pendukung	118.50	165
Klausul 8. Operasi	171.00	235
Klausul 9. Evaluasi Kerja	110.00	150
Klausul 10. Peningkatan	43.75	60
Total	629.50	880

Rekapitulasi hasil tersebut didapatkan dari penilaian klausul 4-10 dengan cara menilai setiap pernyataan/pertanyaan yang diberikan dengan skala likert 1-5. Hasil penilaian menunjukkan nilai rata-rata pada klausul 4 sebesar 62.50 dengan maksimal skor adalah 95. Pada klausul 5 didapatkan nilai rata-rata sebesar 78.25 dengan maksimal skor adalah 115. Pada klausul 6 didapatkan nilai rata-rata sebesar 45.50 dengan maksimal skor adalah 60. Pada klausul 7 didapatkan nilai rata-rata sebesar 118.50 dengan maksimal skor adalah 165. Pada klausul 8 didapatkan nilai rata-rata sebesar 171.00 dengan maksimal skor adalah 235. Pada klausul 9 didapatkan nilai rata-rata sebesar 110.00 dengan maksimal skor adalah 150. Pada klausul 10 didapatkan nilai rata-rata sebesar 43.75 dengan maksimal skor adalah 60. Penilaian tersebut digunakan untuk menentukan penilaian kesiapan CV Pratama dalam mengimplementasikan ISO9001:2015.

3.2 Penilaian Kesiapan Implementasi ISO 9001:2015

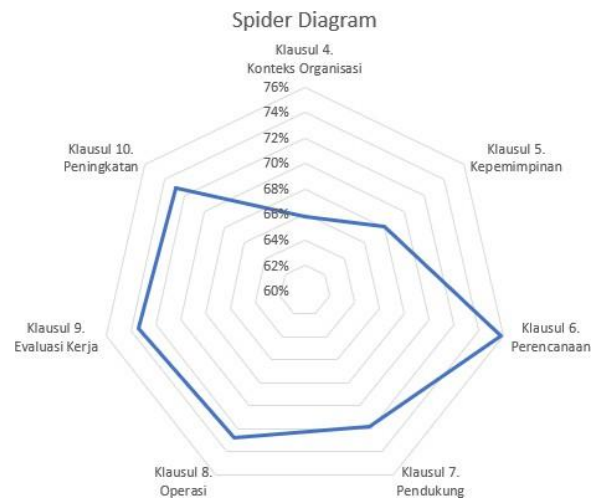
Penilaian kesiapan implementasi ISO 9001:2015 dalam penelitian ini menggunakan metode *gap analysis* untuk mengukur besarnya kesenjangan antara kondisi aktual dan standar yang diinginkan. Penelitian ini melakukan analisis kesenjangan pada klausul ISO 9001:2015 yang diterapkan di CV Pratama.

$$\begin{aligned}
 \text{Persentase Penilaian} &= (\text{skor rata-rata} : \text{skor maksimal}) \times 100\% \\
 &= (629,50 : 880) \times 100\% \\
 &= 72\%
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Tabel 4. Penilaian Klausul

Klausul	Skor Rata-rata	Skor Maksimal	Persentase Penilaian
Klausul 4. Konteks Organisasi	62.50	95	66%
Klausul 5. Kepemimpinan	78.25	115	68%
Klausul 6. Perencanaan	45.50	60	76%
Klausul 7. Pendukung	118.50	165	72%
Klausul 8. Operasi	171.00	235	73%
Klausul 9. Evaluasi Kerja	110.00	150	73%
Klausul 10. Peningkatan	43.75	60	73%
Total	629.50	880	72%

Berdasarkan penilaian klausul tersebut dibuatlah *spider diagram* untuk mengetahui klausul yang memiliki kesenjangan terbesar. Berikut merupakan *spider diagram* dari hasil penilaian klausul.



Gambar 2. Presentase Penilaian Kesiapan Tiap Klausul

Berdasarkan hasil pengolahan data, rata-rata persentase pemenuhan persyaratan pada setiap klausul adalah 72%, yang termasuk dalam rentang 50%-74%. Persentase ini menunjukkan bahwa organisasi masih perlu memperbaiki Sistem Manajemen Mutu untuk persiapan ISO 9001:2015. Hal ini mengindikasikan adanya kesenjangan di perusahaan. Oleh karena itu, perusahaan perlu berkomitmen lebih kuat dalam penerapan ISO 9001:2015 untuk merasakan manfaat nyata dari implementasinya dan untuk memenuhi kepuasan serta kebutuhan pelanggan. Melalui *spider diagram*, terlihat bahwa semakin ke dalam bentuk grafik, semakin besar kesenjangan dalam kesiapan implementasi ISO 9001:2015 di CV Pratama.

Dari hasil pengolahan data didapatkan bahwa klausul 4 dan klausul 5 memiliki nilai presentase rendah dibandingkan dengan klausul lainnya yaitu sebesar 66% dan 68%. Untuk itu perlu dilakukan perbaikan oleh perusahaan agar perusahaan lebih siap lagi dalam menjalankan ISO 9001:2015. Perusahaan dapat melakukan perbaikan dalam konteks organisasi yang memiliki persyaratan untuk memahami organisasi dan konteksnya, memahami kebutuhan dan harapan pihak berkepentingan, menentukan ruang lingkup dan sistem manajemen mutu, serta mengelola sistem manajemen mutu dan proses-prosesnya

3.3 Analisis Performance

Berdasarkan pengolahan data yang sudah ada, dapat terlihat masing-masing presentase penilaian dari masing-masing klausul. Pada klausul keempat, konteks organisasi memiliki presentase penilaian sebesar 66%. Dari nilai yang didapat, perusahaan masih harus melakukan pemahaman yang mendalam pada analisis internal dan eksternal perusahaan lebih lanjut. Klausul 5, yaitu kepemimpinan memiliki presentase penilaian sebesar 68%, skor ini menunjukkan bahwa kepemimpinan perusahaan sudah menunjukkan komitmen terhadap mutu tetapi belum optimal untuk berperan dalam mendorong dan mengarahkan pencapaian mutu. Pada klausul 6, yaitu perencanaan memiliki presentase penilaian sebesar 76%, di mana perusahaan telah melakukan perencanaan sistematis dan terukur untuk mencapai tujuan mutu, namun masih perlu penyempurnaan perencanaan agar lebih efektif lagi. Klausul 7, yaitu pendukung memiliki presentase penilaian sebesar 72%. Hal ini menunjukkan bahwa perusahaan telah memiliki sumber daya dan infrastruktur yang mencukupi untuk mendukung

pencapaian mutu, akan tetapi masih harus dioptimalkan agar pencapaian mutu terlaksana dengan optimal. Klausul 8, operasi memiliki presentase penilaian sebesar 83%, di mana proses terdefinisi dan terkendali dengan baik, namun masih harus dilakukan peningkatan efektivitas pada pelaksanaan proses operasi. Klausul 9, evaluasi kerja memiliki presentase penilaian sebesar 73%. Perusahaan sudah melakukan evaluasi kinerja secara berkala, tetapi masih harus perlu ditindaklanjuti hasil dari evaluasi kinerja tersebut untuk pencegahan. Terakhir pada klausul 10, yaitu peningkatan dengan presentase penilaian sebesar 73%, perusahaan telah memiliki komitmen yang cukup tinggi, akan tetapi upaya peningkatan berkelanjutan tetap harus ditingkatkan.

3.4 Usulan Perbaikan

Dari hasil analisis kinerja, terdapat 2 klausul yang memiliki presentase penilaian paling rendah, untuk itu perlu adanya perbaikan agar perusahaan siap dalam mengimplementasikan ISO 9001:2015. Berikut perbaikan yang bisa dilakukan perusahaan untuk klausul 4.

1. Mengidentifikasi faktor-faktor internal dan eksternal seperti visi misi perusahaan, nilai perusahaan, strategi, sumber daya perusahaan, tren pasar, kebutuhan pelanggan, persaingan, dan lainnya.
2. Menentukan tindakan yang perlu diambil untuk membantu organisasi mencapai manajemen mutu, seperti meningkatkan kualitas produk, meningkatkan efisiensi proses, mengembangkan produk baru, dan lainnya.
3. Memantau dan meninjau organisasi secara bertahap untuk memastikan bahwa sistem manajemen mutu yang diterapkan perusahaan tetap relevan dan efektif.

Selain pada klausul 4, CV. Pratama juga perlu melakukan perbaikan pada klausul 5 yang menjelaskan mengenai kepemimpinan yang terdiri dari persyaratan kepemimpinan dan komitmen, kebijakan, serta tugas, tanggung jawab dan wewenang organisatoris. Usaha yang dapat dilakukan perusahaan adalah sebagai berikut.

1. Menentukan dan menetapkan manajemen puncak yang menunjukkan komitmen yang jelas dan nyata terhadap manajemen mutu dengan cara menetapkan kebijakan mutu yang jelas dan terukur, penyediaan sumber daya yang memadai untuk penerapan sistem manajemen mutu, dan komunikasi yang terbuka dan efektif terhadap seluruh karyawan.
2. Menetapkan peran dan tanggung jawab yang jelas dengan menggunakan bagan organisasi atau dokumen lain yang bisa untuk mendokumentasikan dan memetakan peran dan tanggung jawab.
3. Meningkatkan komunikasi dan kerja sama dengan cara menciptakan budaya kerja yang terbuka dan kolaboratif antar semua departemen dan karyawan.
4. Melakukan pelatihan karyawan agar sistem manajemen mutu perusahaan dapat tercapai.
5. Melakukan pemantauan dan pengukuran kinerja secara berkala untuk evaluasi dan perbaikan.
6. Melakukan evaluasi internal secara berkala untuk memastikan bahwa sistem manajemen mutu yang dilaksanakan efektif.

4. Simpulan

Berdasarkan hasil perhitungan *Gap Analysis*, maka dapat disimpulkan bahwa penerapan standar manajemen mutu ISO 9001:2015 pada CV Pratama adalah memperoleh penilaian sebesar 72%. Persentase ini menunjukkan bahwa perusahaan masih harus memperbaiki sistem manajemen mutu mereka. Dalam kategori penilaian, skor 50-74% mengindikasikan bahwa

organisasi perlu melakukan perbaikan lebih lanjut untuk mempersiapkan diri terhadap sertifikasi ISO 9001:2015. Terdapat kesenjangan sebesar 28% antara praktik yang ada di CV Pratama dengan persyaratan yang ditetapkan oleh standar ISO 9001:2015. Kesenjangan ini menunjukkan area di mana perusahaan perlu meningkatkan sistem manajemen mutu mereka. Rekomendasi perbaikan dapat dengan memberikan pelatihan karyawan secara berkala untuk memastikan pemahaman dan penerapan sistem manajemen mutu, melakukan pemantauan dan pengukuran kinerja secara berkala untuk evaluasi dan perbaikan berkelanjutan, serta melakukan evaluasi internal secara berkala untuk memeriksa efektivitas sistem manajemen mutu yang diterapkan.

Daftar Pustaka

- Alexander, Enrico., Jani Rahardjo. (2022). Perancangan Dokumen ISO 9001:2015 Sebagai Persiapan Sertifikasi CV. XYZ. *Jurnal Trita*, 10(2), 33-40.
- Ariyani, N. W. S., Sudarma, M., & Mahaputra, I. Y. (2021). Pengukuran Tingkat Manajemen Mutu Berdasarkan ISO 9001: 2008 pada Perusahaan Teknologi, Informasi, dan Komunikasi. *Jurnal Nasional Pendidikan Teknik Informatika: JANAPATI*, 10(1), 46-56.
- Crismanto, Y., & Noya, S. (2018). Analisis Kesenjangan Terhadap Penerapan Sistem Manajemen Mutu Iso 9001:2015 Pada Cv. Tirta Mangkok Merah. *I(2)*.
- Edbert, W., & Rahardjo, J. (2024). Perancangan Dokumen ISO 9001: 2015 untuk Perusahaan Import Garment. *Jurnal Titra*, 12(1), 25-32.
- Fernando, J. M., Purwanggono, B., & Wicaksono, P. A. (2017). Analisis Kesiapan Sertifikasi ISO 9001: 2015 Pada PT. Wijara Nagatsupazki Dengan Menggunakan Metode Gap Analysis. *Industrial Engineering Online Journal*, 6(2).
- Halim, F. R., & Felecia. (2015). Perancangan ISO 9001:2015 Pada PT. Visi Mulia Indonesia. In *Perancangan ISO (Vol. 9001, Issue 2)*.
- Handayani, Denny. (2018). Evaluasi Penerapan ISO 9001:2015 Pada PT Pulau Sambu Group (PSG) Subgai Guntung Kabupaten Indra Giri Hilir Riau. *Manajemen Bisnis*. 8. 10.22219/jmb.v8i2.7059.
- Handayani, R. (2024, April). Optimalisasi Iso 9001: 2015 Untuk Meningkatkan Keunggulan Bersaing Umkm. In *Prosiding Seminar Nasional Administrasi Banten (Vol. 1, No. 1, pp. 86-90)*.
- Insani, I., Yan, O., & Iyan, B. (2023). Perancangan Sistem Manajemen Mutu (SMM) Berdasarkan International Organization for Standardization (ISO) 9001:2015 dan Hasil Gap Analysis pada CV HER-5 Engineering Manufacturing. *Jurnal Riset Teknik Industri*, 43–50. <https://doi.org/10.29313/jrti.v3i1.1943>
- Primasanti, Y., & Hendratmoko, R. (2021). Analisis Iso 9001:2015 Pt Panca Bintang Tunggal Sejahtera Dengan Menggunakan Metode Gap Analysis (Vol. 12, Issue 2).
- Putra, M. F., Suhendar, E., & Usman, R. (2019). *Gap Analysis Persiapan Implementasi Iso 9001:2015 Pada Pt. Trans Power Marine, Tbk. Xiii(2)*, 149–153.
- Rofiq, A. (2021). Analisis Kesiapan Sertifikasi Iso 9001:2015 Dengan Metode Gap Analysis Tools Pada CV Berkah Bersama Putra. *Scientifict Journal of Industrial Engineering*, 2(2), 75–79.
- Semuel, H., Fakultas, G. B., Uk, E., Surabaya, P., & Zulkarnain, J. (2011). *Pengaruh Sistem Manajeen Mutu Iso Terhadap Kinerja Karyawan Melalui Budaya Kualitas Perusahaan (Studi Kasus Pt Otsuka Indonesia Malang)*.
- Sihombing, A. J. B., Purwanggono, B., & Handayani, N. U. (2018). Analisis faktor-faktor

yang mempengaruhi keberhasilan implementasi ISO 9001: 2015 pada industri manufaktur. *Industrial Engineering Online Journal*, 7(1).

Silalahi, E., Nazmia, I., & Asbari, M. (2023). Analisis Penerapan ISO 9001:2015 Industri Makanan: Sebuah Narrative Literature Review. *Journal Of Information Systems And Management*, 02(03). [Https://Jisma.Org](https://jisma.org)

Upaya Pengendalian *Heat Exchanger* Pada Kilang Minyak Menggunakan Siklus PDCA dan *Seven Tools*

Ridho Muzaik Ramadhan^{*1)}, Lulu Riesta Nugroho²⁾, Zahara Intan Wigathie³⁾,
Felix Rasyada Rafif⁴⁾, dan Danang Setiawan⁵⁾

^{1,2,3,4,5)} Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia, Daerah Istimewa
Yogyakarta, 55584

Email: 21522098@students.uui.ac.id, 21522001@students.uui.ac.id, 22522300@students.uui.ac.id,
22522038@students.uui.ac.id, danang.setiawan@uui.ac.id

ABSTRAK

Perusahaan industri minyak merupakan kilang yang digunakan untuk mengolah minyak mentah menjadi bahan bakar, bahan bakar khusus (BBK), dan non bahan bakar (NBBM). *Heat Exchanger* merupakan salah satu komponen pada unit salah satu kilang minyak yang berfungsi untuk memindahkan panas antara dua fluida yang berbeda temperatur dan dipisahkan oleh sekat pemisah. Pengotoran telah menjadi masalah sejak penukar panas ditemukan. Kinerja penukar panas memiliki dampak yang signifikan terhadap keberhasilan proses industri secara keseluruhan. Penelitian bertujuan mengidentifikasi faktor apa yang dapat mempengaruhi kinerja optimal *heat exchanger* dengan menggunakan metode PDCA dan *seven tools*. Berdasarkan hasil pada *Heat Exchanger* semakin mendekati batas bawah kendali pada *control charts* sehingga kinerja pengendalian dapat berdampak pada *fouling* pada *heat exchanger* yang mengakibatkan pertukaran panas tidak optimal karena adanya endapan.

Kata kunci: *Heat Exchanger*, PDCA, *Seven Tools*, *Fouling*, *Poka-Yoke*.

1. Pendahuluan

Indonesia saat ini merupakan negara dengan jumlah penduduk terbesar keempat di dunia dan menempati peringkat ke-16 perekonomian terbesar berdasarkan produk domestik bruto (PDB). Seiring dengan pertumbuhan ekonomi yang signifikan dalam beberapa tahun terakhir, terdapat peningkatan permintaan terhadap bahan bakar kendaraan bermotor dalam jumlah yang lebih besar karena meningkatnya jumlah kendaraan bermotor. Indonesia menghadapi tantangan dalam meningkatkan produksi bensin dan solar dalam negeri untuk mengimbangi peningkatan permintaan (Xie & Harjono, 2020). Pembangunan infrastruktur di Indonesia sedang meningkat, dengan beberapa pabrik, perkantoran, dan apartemen yang sedang dibangun. Minyak bumi diperlukan sebagai bahan bakar dan sumber energi di seluruh proses pembangunan. Produk minyak bumi olahan sangat penting baik untuk aplikasi industri maupun kebutuhan manusia sehari-hari. Oleh karena itu, tidak mengherankan jika permintaan minyak bumi sebagai bahan bakar di Indonesia tetap tinggi setiap tahunnya (Nur'ain & Hidayati, 2021).

Bahan bakar adalah barang penting yang sangat diperlukan dalam kehidupan kita sehari-hari. Bagi pelanggan, bahan bakar sangat penting untuk mobilitas antar kota atau daerah, menggerakkan berbagai metode transportasi seperti sepeda motor, mobil, bus, kereta api, kapal laut, dan lainnya. Kegiatan usaha yang produktif sangat penting untuk mendorong operasional industri, khususnya di pabrik dan perusahaan lain yang merangsang pertumbuhan ekonomi (Risdiyanta, 2015).

Perusahaan industri minyak merupakan fasilitas yang didedikasikan untuk konversi minyak mentah menjadi berbagai produk, antara lain BBM, Bahan Bakar Khusus (BBK), dan Non Bahan Bakar (NBBM). Hal ini dicapai melalui pemanfaatan proses lanjutan seperti Crude Distillation Unit (CDU) dan Residue Catalytic Cracking (RCC). Hydrotrating Unit (HTU), Naphtha Processing Unit (NPU), dan unit lainnya ada di sana. Premium, Peralite, Pertamina, Pertamina Turbo, Solar, Avtur, Liquefied Petroleum Gas (LPG), dan Propylene termasuk di antara produk berkualitas tinggi (Nur'ain & Hidayati, 2021).

Menurut Kementerian ESDM, 2015, Unit RCC terdiri dari Reaktor, Regenerator, Catalyst Cooler, Main Air Blower, Cyclone, Catalyst System, Heat Exchanger, dan CO Boiler. *Heat Exchanger* merupakan salah satu komponen pada unit RCC. Menyesuaikan banyak variabel dengan benar sangat penting untuk mengatur unit RCC. Faktor-faktor proses ini sangat saling terkait, sehingga sulit untuk mengidentifikasi secara cepat potensi pengaruh tertentu.

Heat Exchanger adalah suatu alat penukar panas yang fungsinya untuk memindahkan panas antara dua fluida yang berbeda temperatur dan dipisahkan oleh sekat pemisah. Proses perpindahan panas ini dapat diatur sehingga diperoleh temperatur fluida sesuai kriteria yang diinginkan sehingga tidak ada energi yang terbuang, sehingga pemanfaatan sumber energi yang tersedia benar-benar dapat lebih optimal (Jhonson, 2016). *Heat Exchanger* merupakan alat yang digunakan untuk memanaskan minyak mentah dengan memanfaatkan energi panas dari produk kilang. Minyak mentah diedarkan melalui cangkang sementara produk panas dialirkan melalui tabung. Kinerja penukar panas memiliki dampak yang signifikan terhadap keberhasilan proses industri secara keseluruhan. Kerusakan apa pun, baik mekanis maupun operasional, dapat menyebabkan penghentian total operasi unit di suatu industri (Prasasti et al, 2021).

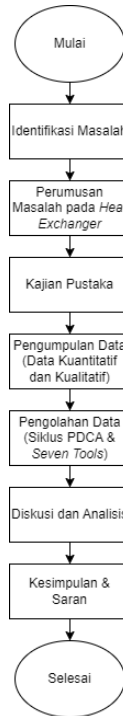
Berdasarkan pernyataan tersebut, maka penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengidentifikasi permasalahan di atas untuk mengetahui apa yang terjadi pada peralatan dan faktor apa saja yang mempengaruhinya sehingga dapat menentukan rekomendasi perbaikan dan pencegahan untuk menjaga efisiensi.

2. Metode

Metode Jenis penelitian ini menggunakan model *sequential explanatory* yaitu Metode penelitian kombinasi yang menggabungkan metode penelitian kuantitatif dan kualitatif secara berurutan. Pada tahap pertama, penelitian dilakukan dengan using metode kuantitatif, dan pada tahap kedua, penelitian dilakukan dengan metode kualitatif. (Sugiono, 2013).

Data kuantitatif dalam penelitian ini meliputi data pencapaian suhu dan volume pada *heat exchanger*. Sedangkan data kualitatif yaitu data observasi di dalam bentuk verbal pada *heat exchanger* bulan Februari 2021. Dari data tersebut diperoleh beberapa gambaran masalah yang dihadapi perusahaan, yaitu al produk. Selanjutnya, dilakukan identifikasi penyebab tidak optimalnya pengoperasian alat menggunakan metode PDCA dan *seven tools*.

Menurut Sjarifudin dan Kurnia (2022) Metode Plan-Do-Check-Action (PDCA) adalah strategi sistematis yang memfasilitasi kemajuan menuju tujuan yang diinginkan. Pendekatan PDCA menggabungkan serangkaian instrumen kendali mutu untuk meningkatkan kinerja proses produksi dan meminimalkan tingkat kesalahan produk (Aulia & Murnawan, 2024). Lalu tahapan rangkaian yang digunakan berikutnya adalah *seven tools* yang merupakan instrumen dasar yang digunakan dalam proses pengendalian mutu, meliputi diagram kendali, histogram, lembar periksa, diagram alur, diagram sebar, diagram Pareto, dan *fishbone* diagram (Alfadilah, et al., 2022).



Gambar 1. Alur Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

Data pada penelitian ini diperoleh dari data pada *heat* pada salah satu kilang minyak di Indonesia. Hasil data diolah menggunakan siklus PDCA yang terintegrasi dengan *seven tools*. PDCA dan *seven tools* merupakan metode yang digunakan untuk menentukan batas toleransi cacat atau penyebab masalah pada proses, atau sistem kerja (Albana & Dahdah, 2023).

1. Plan

Pada tahap pertama *plans* digunakan untuk menentukan permasalahan apa yang terjadi pada proses atau sistem kerja alat.

a. Check sheets

Tindakan yang dilakukan adalah dengan mengumpulkan data pada *heat exchanger*, baik jumlah sampel suhu yang masuk dan suhu keluar serta jumlah aliran pada *shell* dan *tube* sebagai berikut.

Tindakan yang dilakukan adalah dengan mengumpulkan data pada *heat exchanger*, baik jumlah sampel suhu yang masuk dan suhu keluar serta jumlah aliran pada *shell* dan *tube* sebagai berikut.

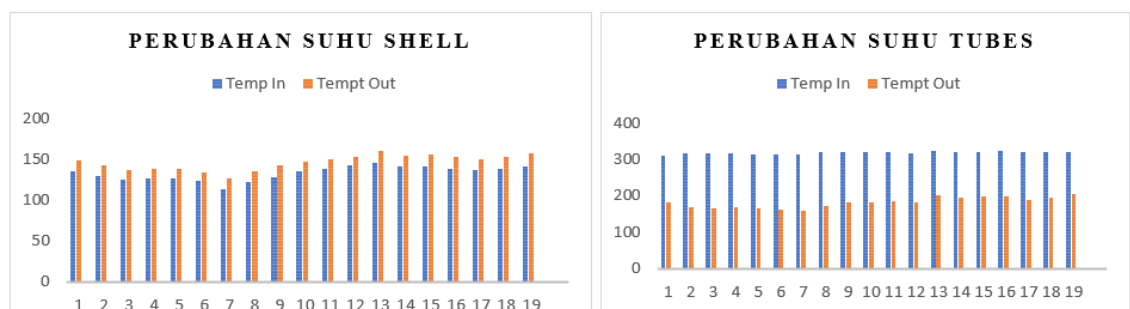
Tabel 1. Data Shell dan Tube pada Heat Exchanger

Heat Exchanger 101						
Periode	Shell (Feeds)			Tube (DCO Product)		
	Temp IN	Temp Out	Flow (Volume)	Temp IN	Temp Out	Flow (Volume)
1	136,1	149,7	353,3	310,4	182,8	44,7
2	129,7	143,1	353,8	316,2	169,5	38,8
3	125,3	136,8	354,0	316,4	166,2	35,7

Heat Exchanger 101						
Periode	Shell (Feeds)			Tube (DCO Product)		
	Temp IN	Temp Out	Flow (Volume)	Temp IN	Temp Out	Flow (Volume)
4	127,2	139,3	353,6	315,4	168,3	37,7
5	126,9	138,3	353,6	311,8	164,9	35,3
6	123,6	134,7	355,6	312,8	161,0	33,1
7	114,3	126,4	359,8	312,9	158,2	37,2
8	122,1	135,5	383,2	318,1	171,5	44,3
9	128,9	143,0	407,2	319,1	180,4	50,4
10	135,1	148,2	429,6	319,5	183,0	50,9
11	138,4	150,7	430	320	185,2	50,9
12	143	153,0	431,1	317,9	180,6	43,5
13	146,5	160,6	429,5	322,4	202,9	49,1
14	141,9	155,2	428,6	319,6	193,3	45,8
15	141,3	156,2	429,9	320,9	199,5	48,1
16	138,8	153,4	429,6	321,3	197,3	51,1

b. *Histogram*

Pada bagian ini, data Histogram akan menunjukkan pergerakan suhu *shell* secara keseluruhan, data menunjukkan pada paruh pertama pergerakan suhu yang tidak stabil, disisi lain Sedangkan menurut setengah grafik berikutnya, jumlah suhu bergerak secara konstan. Sedangkan pada perubahan suhu pada *tubes* menunjukkan perbedaan pergerakan suhu dibandingkan sebelumnya. Suhu yang masuk tidak berubah secara signifikan tetapi di sisi lain suhu yang keluar sama seperti yang terjadi pada *shell*

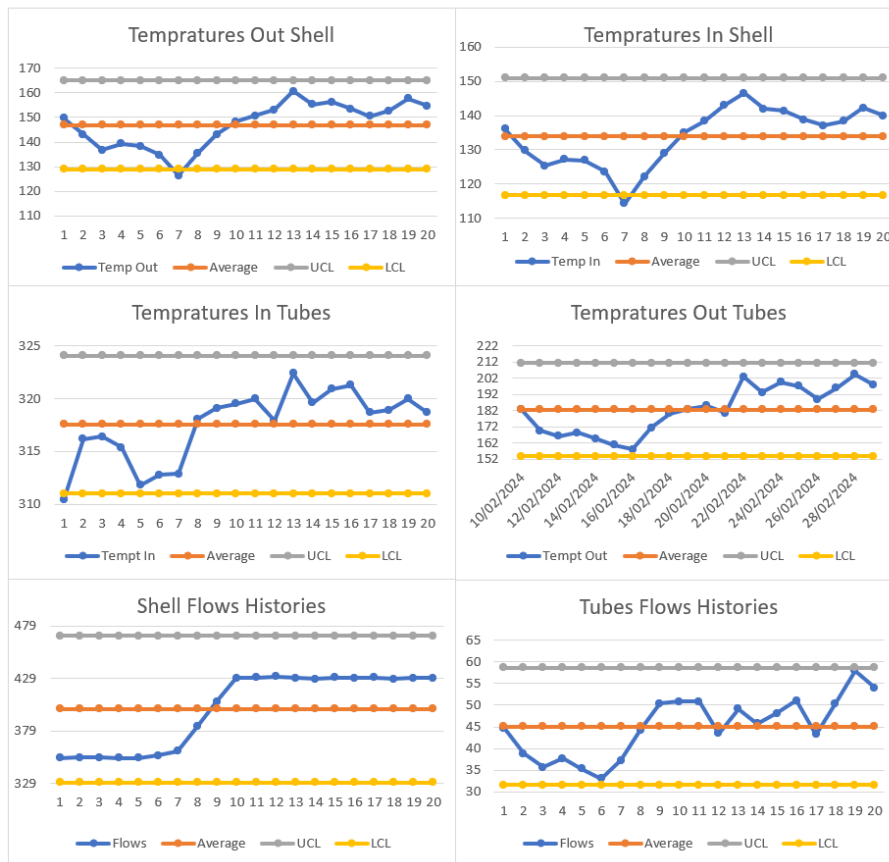


Gambar 2. Data Histogram Perubahan Suhu pada *Shell* dan *Tubes*

c. *Control chart*

Pada tahap ini Melalui *control chart* data *flow shell* dan *tube* yang diperoleh pada *Heat exchanger 15V-101*, sebagian masih di luar batas kendali. grafik yang digunakan bertujuan untuk memeriksa suatu proses atau sistem dari waktu ke waktu (Wardhani & Gustianta,

2021). Data diplot secara kronologis. Garis tengah diagram kendali selalu merupakan mean, dan batas kendali atas dan bawah menunjukkan di mana data tidak boleh keluar dari kendali.



Gambar 3. Control Chart Shell dan Tubes

Terdapat nilai temperatur dan aliran pada *heat exchanger* yang di bawah rata-rata melalui *control charts* dan juga perhitungan nilai rata-rata temperatur masuk dan keluar serta arus yang mengalir pada shell, suhu rata-rata yang masuk ke dalam *shell* adalah 134 derajat dengan nilai batas atas 151 dan juga 117 pada nilai batas bawah, tercatat pada periode ke-2 hingga periode ke-7 menyentuh nilai di bawah rata-rata, bahkan pada tanggal 7 melebihi nilai batas bawah. Hal serupa juga terjadi pada suhu yang keluar dari *shell* dimana suhu rata-rata sebesar 147 derajat, hal ini dipengaruhi oleh pertukaran panas yang kurang optimal. hal ini juga mempengaruhi aliran yang mengalir melalui shell, sebaliknya *tube* pada *heat exchanger* juga mempunyai dampak serupa, di mana *deccant oil* yang mengalir dengan panas yang tinggi namun panasnya kandungan pada *decant oil* tidak mengalami perpindahan panas yang optimal, *decant oil* merupakan produk dengan kandungan yang memiliki banyak endapan butiran halus kalatis FCC. Sehingga kandungan-kandungan yang teradpat didalamnya seperti karbon, hidrogen, dan belerang yang mengendap di dalam tabung, dapat mengubah laju minyak dan juga perpindahan panas dari tabung ke penukar panas, serta dapat menyebabkan terjadinya *fouling*.

d. Menentukan Faktor

Dari analisis yang dilakukan, terdapat beberapa faktor yang mempunyai pengaruh terhadap *heat exchanger* yang terjadi pada proses Produksi.

Tabel 2. Faktor dan akibat

No	Faktor	Permasalahan	Akibat
1.	Mesin	Tidak ada pemeliharaan preventif pada alat.	Kerusakan pada mesin
2.	Pekerja	Kurangnya sosialisasi tentang Standar Operasional Prosedur (SOP).	Prosedur pembersihan yang tidak memadai mengakibatkan akumulasi sedimen, pengotoran, atau korosi
3.	Lingkungan	Residu yang menempel jarang dibersihkan	Kurangnya laju perpindahan panas
4.	Material	Terdapat sedimen/residu yang mengendap di dalam <i>shell</i> dan <i>tube</i> .	Penumpukan sedimen menyebabkan pembatasan aliran volume.

2. Do

Rencana untuk proses perbaikan telah ditetapkan pada langkah sebelumnya. Tahap selanjutnya mengimplementasikan rencana perbaikannya dari tahap sebelumnya. Hal ini bertujuan agar penyempurnaan tersebut dapat dilaksanakan sebaik mungkin untuk memastikan tidak ada waktu produksi yang terbuang.

Tabel 2. Implementasi Area Perbaikan

No	What	Why	Who	Where
1	Tidak ada pemeliharaan preventif pada pompa.	Karena perawatan baru dilakukan ketika pompa mengalami kerusakan.	Maintenance Departement	Area Produksi
2	Kurangnya sosialisasi tentang Standar Operasional Prosedur (SOP).	Karena masih ada pegawai yang tidak peduli dengan sosialisasi.	Personil operasi dan pemeliharaan yang bertanggung jawab pada pengoperasi	Area Produksi
3	Banyak debu dan jarang dibersihkan.	Terletak di tempat terbuka	Personil operasi	Area Produksi
4	Terdapat sedimen/residu yang mengendap di dalam <i>shell</i> dan <i>tube</i> .	Aliran Minyak atau Cairan yang masih mengandung belerang/residu.	Personil operasi dan pemeliharaan	Area Produksi

3. Check

Langkah selanjutnya adalah mengevaluasi tindakan perbaikan pada tahap sebelumnya. Hal ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan antara kondisi sebenarnya dengan target yang ingin dicapai. Hal ini mengacu pada *heat exchanger*. Berdasarkan hasil penerapan metode *Seven Tools*, nilai temperatur yang keluar dibawah rata-rata, disusul dengan aliran yang juga mempunyai nilai di bawah rata-rata, seperti halnya pada *tubes heat exchanger*. Menurut Hendri (2018), hal ini disebabkan adanya *fouling*. Pengotoran telah menjadi masalah sejak penukar panas ditemukan. *Fouling* dapat didefinisikan sebagai terbentuknya lapisan endapan pada permukaan perpindahan panas suatu zat atau senyawa yang tidak diinginkan (Hendri & Lubis, 2018). Pembentukan lapisan endapan ini akan terus bertambah selama *heat exchanger* dioperasikan. Partikel gas yang terbawa dalam aliran gas dapat. Hal ini menyebabkan masalah korosi pada permukaan yang dilalui panas konveksi.

Namun masalah utama abu adalah sedimen. Endapan ini menyebabkan pengotoran pada pipa.

4. Action

Setelah dilakukan pengecekan permasalahan pada Analisa *Heat Exhcanger* pada kilang minyak dapat diminimalkan. Langkah selanjutnya adalah menerapkan standarisasi kerja untuk mencegah permasalahan terulang kembali. Pada dasarnya, tugas atau aktivitas yang terstandarisasi menjamin bahwa setiap proyek diselesaikan secara seragam dan teratur, tanpa memandang siapa pun individu yang mengerjakannya. Ketika pekerjaan distandarisasi, kualitas hasil tetap konstan meskipun operator berpindah-pindah selama proses berlangsung.

Tabel 3. Perubahan Perbaikan

No	Faktor	Perubahan
1	Mesin	Operator harus selalu memeriksa kondisi heat exchanger dan melakukan perawatan preventif seminggu sekali pada seluruh peralatan
2	Pekerja	Kepala bagian departemen harus sering mengawasi kinerja operator produksi
3	Lingkungan	<i>Monitoring</i> sedimen yang ada pada <i>Heat Exchanger</i>
4	Material	Mengecek material dan melengkapi lembar Data kesesuaian kualitas bahan produk

a. Poka-Yoke

Menurut Santamaria (2013), poka-yoke merupakan suatu gagasan yang dibangun secara hati-hati untuk mencegah kesalahan sistem pada saat sistem sedang digunakan. Menurut beberapa penelitian, poka-yoke mirip dengan semut tanpa otak; hal ini memberikan kepercayaan keselamatan kepada konsumen saat menggunakan mesin dan prosedur, sehingga mencegah kecelakaan (Lusiba, 2019). Dalam hal ini salah satu tahap tindakan, kegiatan *heat exchanger* akan melakukan seluruh aktivitas secara rutin dan terus menerus selama tahap tindakan juga Metode Poka-Yoke dengan menambahkan perangkat *Fail-Safe*. Sehingga karyawan dapat lebih memperhatikan *heat exchanger* dengan melihat Perangkat Aman atau *fail-safe devices*.

4. Simpulan

Berdasarkan penerapan metode PDCA dan juga *seven tools* pada proses operasi *heat exchanger* serta hasil penelitian lapangan, maka penulis dapat menyimpulkan pada *heat exchanger* pada salah satu industri kilang minyak bulan Februari 2021 melalui *control charts* pada siklus *Plan* terdapat data yang melewati mendekati batas bawah kendali selama beberapa periode sehingga mempengaruhi kinerja pengendalian pada *heat exchanger* yang mengakibatkan pertukaran panas tidak optimal karena adanya endapan pada kilang tersebut. cangkang dan tabung. Rekomendasi yang dapat dilakukan melaksanakan perawatan pada alat secara rutin dan berkesinambungan dan juga menerapkan Metode Poka-Yoke dengan menambahkan perangkat *Fail-Safe*. Implementasi lain yang perlu dilakukan agar pengendalian kinerja pada *heat exchanger* dapat maksimal antara lain menetapkan komitmen dan kebijakan dalam pengelolaan alat, membentuk divisi pengendalian alat sehingga dapat melakukan pemantauan dan pengawasan secara harian dan mingguan untuk meminimalkan *fouling*, dan meninjau sistem manajemen yang ada.

Daftar Pustaka

- Albana, A., & Dahdah, S. (2023). Improving the Quality of Boiler Feed Water Based on the PDCA Cycle by Integrating Seven Tools. *Daengku: Journal of Humanities and Social Sciences Innovation*, 3(6), 907–915.
- Alfadilah, H., Hadining, A. F., & Hamdani, H. (2022). Pengendalian kualitas produk cacat piece pivot pada PT. Trijaya Teknik Karawang menggunakan seven tool dan analisis kaizen. *Jurnal Serambi Engineering*, 7(1).
- Aulia, D. R., & Murnawan, H. (2024). Pengendalian Kualitas Produk Cacat Jumbo Bag Menggunakan Siklus Pdca (Plan-Do-Check-Act) di PT. XYZ. *Jurnal Inovasi Manajemen, Kewirausahaan, Bisnis dan Digital*, 1(3), 97-111.
- Hendri, Suhengki, & Lubis, A. (2018). PENGARUH FOULING TERHADAP LAJU PERPINDAHAN PANAS PADA SUPERHEATER BOILER CFB PLTU SEBALANG. *Jurnal Power Plant*, 6(1).
- Jhonson, F. (2016). PENGENDALI TEMPERATUR FLUIDA PADA HEAT EXCHANGER DENGAN MENGGUNAKAN GENERALIZED PREDICTIVE CONTROL (GPC).
- Lusiba, K. (2019). A Roadmap for Improving the Manufacture of Automotive Heat Exchangers through Value Stream Mapping Submitted in fulfilment of the requirements of.
- Nur'ain, H. E., & Hidayati, N. (2021). EVALUASI KINERJA HOT MAIN COLUMN BOTTOMS RAW OIL EXCHANGER (15-E-101) PADA UNIT RESIDUE CATALYTIC CRACKING (RCC).
- Prasasti, T. E., Udjiana, S. S., & Muharram, Y. (2021). Evaluasi Fouling Faktor Terhadap Kinerja Heat Exchanger Pada Gas Cooler Unit Co2 Liquid Plant. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, 7(2), 570-578.
- Risdiyanta, R. (2015). Mengenal Kilang Pengolahan Minyak Bumi (Refinery) di Indonesia. *Swara Patra: Majalah Ilmiah PPSDM Migas*, 5(4).
- Wardhani, R., & Gustianta, E. (2021). SEVEN TOOLS AS THE PROBLEM-SOLVING WAYS TO IMPROVE QUALITY CONTROL. *MECHA JURNAL TEKNIK MESIN*, 3.
- Xie, Y., & Harjono, M. (2020). A review of motor vehicle fuel demand and supply in Indonesia. *Working Paper*, (2020-20).

Analisis Efisiensi Boiler Menggunakan Metode Langsung (Studi Kasus di PT X)

Elita Amrina^{*1,2)}, dan Haifa Nabila Alqadri²⁾

¹⁾ Prodi Pendidikan Profesi Insinyur, Sekolah Pascasarjana, Universitas Andalas, Limau Manis, Padang, 25163, Indonesia

²⁾ Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Limau Manis, Padang, 25163, Indonesia

Email: elita@eng.unand.ac.id

ABSTRAK

Peningkatan efisiensi menjadi salah satu target setiap perusahaan dalam menghadapi persaingan industri yang tinggi saat ini. PT X merupakan perusahaan manufaktur yang bergerak di bidang farmasi yang memproduksi serta mengembangkan vaksin dan antisera. Salah satu mesin yang berperan penting dalam proses produksi yaitu Boiler. Saat ini perusahaan menghadapi permasalahan terkait meningkatnya penggunaan bahan bakar pada Boiler akibat menurunnya efisiensi Boiler. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efisiensi Boiler di PT X menggunakan metode langsung. Diagram *Fishbone* digunakan untuk menentukan rekomendasi perbaikan. Hasil penelitian diperoleh efisiensi Boiler berada pada rentang nilai 86% - 87%. Nilai ini menunjukkan Boiler masih layak digunakan dalam proses produksi karena masih memenuhi efisiensi standar yang ditetapkan perusahaan (85%), tetapi sudah mendekati nilai bawah. Rekomendasi perbaikan yang diberikan yaitu mengubah spesifikasi *economizer* sesuai fungsi dan standar, memastikan kualitas bahan sesuai spesifikasi, melakukan pemeriksaan dan perawatan secara berkala, memberikan pelatihan pengoperasian Boiler, dan melakukan perbaikan prosedur operasi Boiler.

Kata kunci: Boiler, diagram Fishbone, efisiensi, metode langsung

1. Pendahuluan

Peningkatan efisiensi dan produktivitas menjadi salah satu target setiap perusahaan dalam menghadapi persaingan yang ketat. Efisiensi bertujuan untuk mendapatkan output sebanyak mungkin dengan biaya operasional yang minim. Efisiensi dapat berpengaruh dalam seberapa baik perusahaan dalam mengelola produksi, tenaga kerja, dan hal-hal lain yang berkaitan dengan perusahaan tersebut. Salah satu bentuk penggunaan efisiensi pada perusahaan yaitu efisiensi pada kegiatan operasional.

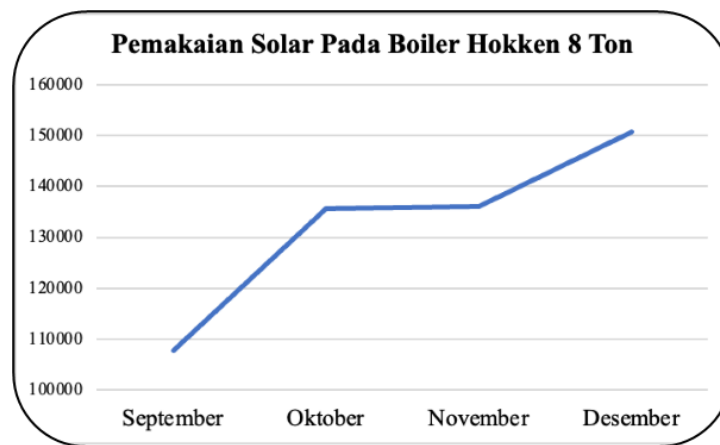
Efisiensi merupakan ketepatan dalam pemanfaatan sumber daya (tenaga, waktu, dan biaya) yang tersedia yang dapat menghasilkan output yang maksimal. Efisiensi mesin didefinisikan sebagai ketepatan mesin memanfaatkan sumber daya yang disediakan dengan menghasilkan output yang maksimal. Sebuah mesin akan dikatakan maksimal jika mendapatkan hasil produksi yang maksimal dengan penggunaan sumber daya yang minimal (Pudjanarsa dan Nursuhud, 2006). Efisiensi mesin di lini produksi mengacu pada pemilihan mesin dengan efisiensi yang sesuai untuk mengurangi waktu menganggur, menyeimbangkan beban kerja, dan meningkatkan aliran produksi (Marzoog dkk, 2020). Efisiensi mesin sangat penting untuk manufaktur berkelanjutan yang dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti konsumsi energi, biaya produksi, dan daya saing (Anna dkk, 2021).

Pengukuran efisiensi dapat dilakukan melalui pendekatan yang berorientasi pada input dan output. Pengukuran efisiensi yang berorientasi input berfokus untuk meminimalkan jumlah input yang dibutuhkan agar menghasilkan tingkat output tertentu, dengan menekankan pada optimalisasi sumber daya (Chiang, 2023). Sedangkan pengukuran efisiensi berorientasi output bertujuan untuk memaksimalkan tingkat output yang diperoleh dari seperangkat input yang diberikan, dengan fokus pada produktivitas dan maksimalisasi output (Chiang, 2023).

PT X merupakan perusahaan *life science* yang memiliki peran dalam menyediakan serta mengembangkan produk *life science* untuk meningkatkan kualitas hidup. PT X memproduksi serta mengembangkan vaksin dan antisera menjadi produk yang dibutuhkan oleh masyarakat.

Seksi Boiler merupakan seksi yang bertugas dalam operasional mesin Boiler. Seksi Boiler berada dalam tanggung jawab bagian mekanik dan utilitas yang berada pada naungan divisi teknik dan pemeliharaan. Kegiatan yang dilakukan pada seksi Boiler tersebut yaitu membantu menjalankan operasi mesin Boiler, mengawasi serta mengendalikan proses mesin Boiler.

Penggunaan mesin operasi yang terus-menerus akan menurunkan efisiensi pada mesin tersebut. Bertambahnya penggunaan bahan bakar dalam mesin Boiler menjadi permasalahan yang sedang dihadapi seksi Boiler. Penggunaan bahan bakar yang berlebih mungkin saja menjadi akibat dari menurunnya efisiensi mesin Boiler. Hal ini dapat dilihat pada penggunaan bahan bakar solar pada mesin Boiler pada bulan September-Desember 2023 yang semakin meningkat di tiap bulannya. Grafik pemakaian solar pada Boiler Hokken 8 ton/jam pada bulan September-Desember 2023 dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Grafik Pemakaian Solar Pada Boiler Hokken
(Sumber: Data diolah dari PT. X, 2023)

Gambar 1 menunjukkan terjadi peningkatan pemakaian solar pada bulan Oktober dan Desember. Penggunaan bahan bakar yang berlebihan dapat menjadi kemungkinan dari akibat menurunnya efisiensi mesin Boiler. Efisiensi boiler merupakan unjuk kerja atau tingkat unjuk kerja boiler yang didapatkan dari perbandingan antara energi yang dipindahkan atau diserap oleh fluida kerja di dalam boiler dengan masukan energi kimia dari bahan bakar (Sangputri dan Safitra, 2015). Efisiensi boiler memiliki pengaruh besar terhadap penghematan energi (Dharmakusuma dkk, 2020). Penurunan efisiensi menyebabkan kehilangan panas sehingga perlu adanya penambahan bahan bakar dan udara yang masuk secara optimum untuk menghasilkan nilai efisiensi yang baik dan mengurangi faktor-faktor kehilangan panas (Putra, dkk, 2011). Dengan semakin efisiennya Boiler, akan berdampak secara langsung terhadap biaya proses, meminimalkan polusi lingkungan dan pelepasan gas berbahaya ke dalam lingkungan (Sugiharto, 2020). Analisis efisiensi mesin digunakan untuk mengetahui bagaimana keadaan suatu mesin sehingga dapat dipertimbangkan dalam penggunaannya. Berdasarkan permasalahan yang disebutkan, analisis efisiensi mesin Boiler menggunakan metode langsung (direct method), yaitu perbandingan energi yang digunakan oleh mesin dengan energi yang disediakan. Dilihat dari permasalahan yang sedang dihadapi oleh PT X, maka perlu untuk menganalisis efisiensi mesin Boiler. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengukur efisiensi mesin Boiler dengan metode langsung di PT X dan menentukan usulan perbaikan untuk proses operasional mesin Boiler di PT X.

2. Metode

Penelitian ini terdiri atas beberapa tahapan yaitu studi lapangan, studi literatur, pengumpulan data, dan pengolahan data.

2.1 Studi lapangan

Studi lapangan yang dilakukan yaitu observasi, wawancara, serta dokumentasi secara langsung ke lapangan. Observasi dilakukan dengan melakukan kunjungan ke area kerja Boiler untuk melihat proses operasi mesin Boiler Hokken kapasitas 8 ton/jam. Kemudian, dilakukan wawancara dengan kepala seksi Boiler terkait proses kerja Boiler serta permasalahan yang sedang dialami oleh seksi Boiler. Dokumentasi dan data pendahuluan terkait permasalahan juga dikumpulkan pada penelitian ini.

2.2 Studi literatur

Studi literatur dilakukan terkait teori-teori yang berkaitan dengan permasalahan penelitian dan metode penelitian yang digunakan. Studi literatur yang dilakukan berkaitan dengan efisiensi mesin, mesin Boiler, dan metode langsung.

2.3 Pengumpulan data

Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini berupa data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data yang langsung didapatkan dari sumber data. Data primer yang diambil pada penelitian ini berupa observasi secara langsung ke area kerja, dan melakukan wawancara dengan kepala seksi Boiler dan pegawai kerja seksi Boiler. Adapun data primer yang didapatkan berupa dokumentasi foto dan video terkait Boiler dan hasil wawancara yang membahas terkait operasi mesin Boiler. Data sekunder yang dikumpulkan adalah data-data historis perusahaan berupa data harian operasional mesin kerja Boiler Hokken kapasitas 8 ton/jam pada bulan November 2023. Data tersebut berisi waktu operasi mesin Boiler, tekanan yang dihasilkan mesin Boiler, temperatur, dan konsumsi utilitas mesin Boiler.

2.4 Pengolahan data

Pengolahan data dilakukan setelah semua data yang dibutuhkan untuk penyelesaian masalah telah dikumpulkan. Pada penelitian ini, data yang telah dikumpulkan kemudian dilakukan perhitungan efisiensi mesin menggunakan metode langsung (*direct method*). Metode langsung merupakan metode efisiensi mesin dengan prinsip perbandingan antara energi yang didapat dari fluida kerja (air dan *steam*) dengan energi yang terkandung dalam bahan bakar Boiler (Holman, 1997). Metode langsung juga dikenal dengan metode input-output karena metode ini hanya memerlukan keluaran atau output dan panas masuk sebagai input untuk mengevaluasi efisiensi mesin. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut (Wuryanti, 1995):

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi Boiler } (\eta) &= \frac{\text{Panas Keluar}}{\text{Panas Masuk}} \\ \text{Efisiensi Boiler } (\eta) &= \frac{m^{\circ} \times (h_g - h_f)}{m^{\circ}_{bb} \times \text{LHV}} \times 100\% \end{aligned} \quad (1)$$

Keterangan:

- m° : Jumlah steam yang dihasilkan per jam (8000 kg/jam)
- m°_{bb} : Jumlah bahan bakar yang digunakan per jam (kg/jam)
- h_g : Entalpi steam jenuh (kkal/kg)
- h_f : Entalpi air umpan (kkal/kg)
- LHV : Nilai kalor bahan bakar (9063 kkal/liter)

3. Hasil dan Pembahasan

Data yang diambil pada data harian Boiler untuk diolah yaitu rata-rata dari *hour meter* Boiler, tekanan uap Boiler, dan temperatur *feed water* Boiler. Adapun data lain yang dibutuhkan yaitu nilai kalor bahan bakar (HHV). Entalpi *steam* jenuh dan uap air didapat dengan menggunakan metode interpolasi. Besar entalpi berdasarkan suhu dan tekanan dilihat dari tabel termodinamika (Keenan dkk, 1992). Contoh perhitungan interpolasi entalpi *steam* jenuh pada tanggal 1 November 2023 adalah sebagai berikut:

$$hg = \frac{(P_2 - P_1)}{(P_2 - P_1)} \times ((hg_2 - hg_1) + hg_1) \times 0,2388 \text{ kkal/kg}$$

$$hg = \frac{(770 - 750)}{(800 - 750)} \times ((2768,3 - 2765,7) + 2765,7) \times 0,2388 \text{ kkal/kg}$$

$$hg = 660,70 \text{ kkal/kg}$$

Nilai 0,2388 kkal/kg digunakan untuk mengubah satuan entalpi yang awalnya kJ/kg. Perhitungan interpolasi entalpi uap air sebagai berikut:

$$hf = \frac{(T_2 - T_1)}{(T_2 - T_1)} \times ((hf_2 - hf_1) + hf_1) \times 0,2388 \text{ kkal/kg}$$

$$hf = \frac{(34,6 - 30)}{(35 - 30)} \times ((146,64 - 125,74) + 125,74) \times 0,2388 \text{ kkal/kg}$$

$$hf = 34,62 \text{ kkal/kg}$$

Jumlah bahan bakar yang digunakan dapat dilihat pada *hour meter* Boiler lalu dikonversi dalam massa jenis bahan bakar. Perhitungan bahan bakar dapat dilihat sebagai berikut.

$$m_{bb}^0 = \text{rata-rata hour meter boiler} \times \text{massa jenis bahan bakar}$$

$$m_{bb}^0 = 727,98 \times 0,87 \text{ kg/l}$$

$$m_{bb}^0 = 633,34 \text{ liter/jam}$$

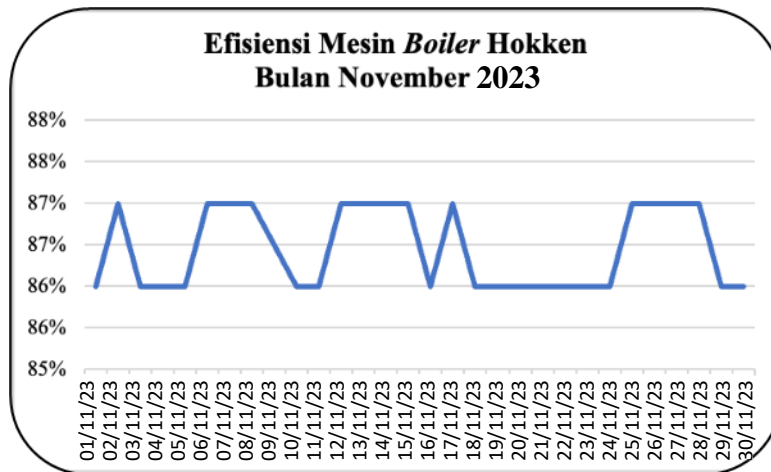
Perhitungan efisiensi mesin dilakukan apabila semua variabel perhitungan telah ditemukan. Adapun perhitungan efisiensi mesin ialah sebagai berikut.

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = \frac{m^0 \times (h_g - h_f)}{m_{bb}^0 \times \text{LHV}}$$

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = \frac{8000 \times (660,70 - 34,62)}{633,34 \times 9063} \times 100\%$$

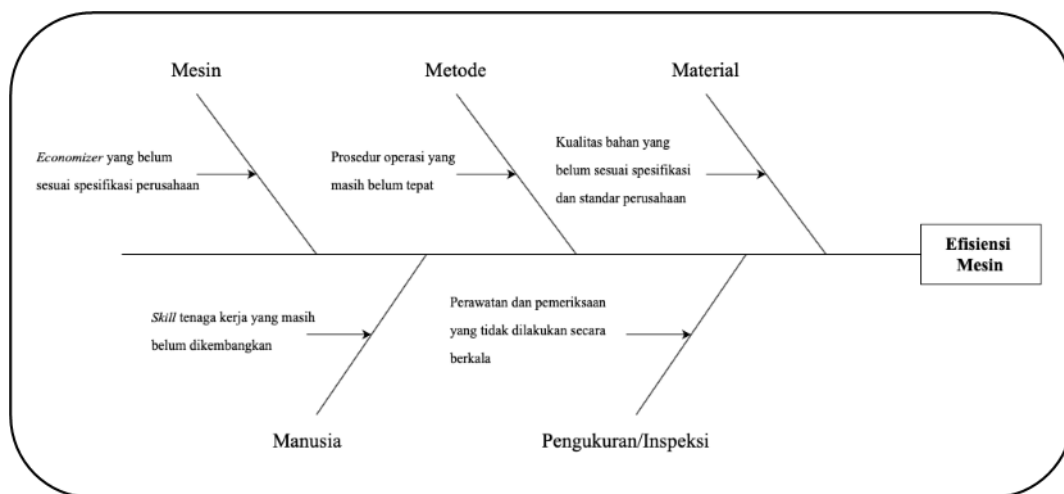
$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = 87\%$$

Efisiensi Boiler diperoleh sebesar 87% dengan satu liter solar menghasilkan 16,64 kg uap. Hal ini menandakan bahwa Boiler layak digunakan dalam proses produksi dikarenakan efisiensi mesin memenuhi standar yaitu sebesar 85%. Efisiensi mesin Boiler selama bulan November 2023 digambarkan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Efisiensi Mesin Boiler Hokken

Berdasarkan Gambar 2, terjadinya penurunan efisiensi yang tidak teratur sebesar 86% pada bulan November 2023. Meskipun demikian, Boiler masih layak digunakan dalam proses produksi dikarenakan efisiensi mesin memenuhi standar perusahaan yaitu sebesar 85%. Selain dari perbandingan energi masuk dan keluar, perawatan mesin Boiler, pemeriksaan kualitas bahan bakar dan kandungan air juga dapat mempengaruhi besarnya efisiensi Boiler. Peningkatan efisiensi Boiler juga dapat dilakukan dengan menaikkan temperatur uap air dengan beberapa pertimbangan sesuai kualifikasi mesin. Kemungkinan penyebab menurunnya efisiensi dijabarkan dalam diagram Fishbone pada Gambar 3. berikut.



Gambar 3. Diagram Fishbone Penyebab Menurunnya Efisiensi Mesin Boiler

Beberapa penyebab didapatkan dari hasil wawancara narasumber yaitu *economizer* yang fungsinya belum sesuai standar spesifikasi, perawatan yang tidak dilakukan secara berkala, serta kualitas bahan yang masih belum memenuhi standar spesifikasi. Prosedur dan *skill* tenaga kerja dilihat dari observasi secara langsung pada ruangan Boiler. Kendala-kendala tersebut memungkinkan menjadi faktor luar penyebab menurunnya efisiensi mesin.

Berdasarkan penyebab yang telah dijabarkan, dirumuskan rekomendasi perbaikan agar efisiensi mesin tidak mengalami penurunan dan menghindari mesin dari kerusakan. Rekomendasi perbaikan dirangkum pada Tabel 1.

Tabel 1. Rekomendasi Perbaikan Efisiensi Mesin Boiler

Aspek	Penyebab	Rekomendasi Perbaikan
Mesin	<i>Economizer</i> belum sesuai spesifikasi perusahaan	Perbaikan spesifikasi <i>economizer</i> sesuai fungsi Boiler dan standar perusahaan
Metode	Prosedur operasi tidak tepat	Perubahan prosedur operasi yang tepat dan sesuai standar perusahaan
Material	Kualitas bahan baku belum sesuai spesifikasi dan standar perusahaan	Memastikan kualitas bahan sesuai spesifikasi yang diberikan perusahaan
Manusia	Skill tenaga kerja belum berkembang	Pelatihan/training untuk tenaga kerja
Pengukuran/ Inspeksi	Perawatan dan pemeriksaan yang tidak dilakukan secara berkala	Perawatan dan pemeriksaan yang dilakukan secara berkala

Untuk aspek mesin, direkomendasikan untuk memperbaiki spesifikasi *economizer* sesuai fungsi dan standar perusahaan. *Economizer* dapat membantu Boiler dalam menaikkan temperatur mesin sehingga dapat meningkatkan efisiensi mesin. Menurut Djokosetyardjo (2003), hal ini dikarenakan *economizer* menghemat penggunaan bahan bakar dengan mengambil panas gas buang (*flues gas*) sebelum terbuang ke atmosfer. Spesifikasi *economizer* yang diperbaiki dapat mempengaruhi mesin sehingga efisiensi mesin tidak mengalami penurunan. Untuk menaikkan nilai efisiensi Boiler bisa dilakukan dengan perbaikan kinerja Boiler dengan memasang peralatan seperti *economizer* (Sugiharto, 2020).

Rekomendasi perbaikan pada aspek material yaitu memastikan kualitas bahan baku sudah sesuai spesifikasi perusahaan. Kualitas bahan dapat mempengaruhi efisiensi mesin. Semakin tinggi kualitas bahan baku maka akan menyebabkan efisiensi mesin juga mengalami peningkatan, begitu sebaliknya (Martono, 2019). Oleh karena itu, perlu dilakukan pemeriksaan kualitas bahan baku sebelum digunakan pada mesin Boiler.

Pada aspek pengukuran/inspeksi direkomendasikan untuk melakukan pemeriksaan dan perawatan secara berkala dengan minimal pemeriksaan dua kali selama sebulan. Hasil wawancara menyatakan bahwa mesin hanya diperiksa ketika mengalami kerusakan saja. Hal ini dapat menjadi kesalahan besar jika mesin dibiarkan hingga rusak berat. Perawatan mesin secara berkala dapat menjaga mesin tetap dalam keadaan optimal sehingga dapat menjaga bahkan meningkatkan efisiensi mesin (Garg, 1997). Pemeriksaan secara berkala dapat mengoptimalkan efisiensi mesin yang akan meminimalkan biaya dan potensi kegagalan (Assis dan Marques, 2021).

Rekomendasi perbaikan untuk aspek manusia dan metode yaitu memberikan pelatihan terkait pengoperasian mesin Boiler dan melakukan perbaikan prosedur operasi. Berdasarkan pengamatan secara langsung, prosedur Boiler dijelaskan secara umum dan kurang menjelaskan secara rinci. Oleh karena itu perlu diperbaiki dengan memberikan penjelasan secara rinci agar tidak terjadi kesalahan prosedur saat mengoperasikan mesin Boiler. Pelatihan kerja diselenggarakan untuk membekali, meningkatkan, dan mengembangkan keterampilan, kemampuan, dan produktivitas tenaga kerja. Manfaat tersebut dapat berdampak pada prosedur kerja sehingga pengoperasian mesin menjadi lebih optimal (Sastrohadiwiryo, 2021).

4. Simpulan

Efisiensi Boiler selama bulan November mengalami penurunan efisiensi yang tidak teratur hingga sebesar 86%. Meskipun demikian, Boiler masih layak digunakan dalam proses produksi dikarenakan efisiensi mesin memenuhi standar perusahaan yaitu sebesar 85%. Rekomendasi perbaikan untuk menjaga efisiensi mesin yaitu dengan mengubah spesifikasi *economizer* sesuai fungsi dan standar perusahaan, memastikan kualitas bahan baku sudah sesuai spesifikasi perusahaan, melakukan pemeriksaan dan perawatan secara berkala dengan minimal

pemeriksaan dua kali selama sebulan, memberikan pelatihan terkait pengoperasian mesin Boiler, dan melakukan perbaikan prosedur operasi.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Sekolah Pascasarjana Universitas Andalas atas dukungan dalam pembiayaan publikasi ini.

Daftar Pustaka

- Anna, G., Elena, M. dan Svetlana, S. (2021). Management of Energy Supply of Production as a Factor of Sustainable Development of Machine-building Enterprises. *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference on Sustainable Development of Regional Infrastructure* (ISSDRI). Vol. 1. 833-839.
- Assis, R. dan Marques, P. C. (2021). A Dynamic Methodology for Setting Up Inspection Time Intervals in Conditional Preventive Maintenance. *Applied Sciences*. 11(18). 1-11.
- Chiang, K. (2023). Output-Input Ratio Efficiency Measures. *International series in management science/operations research*, 19-42.
- Dharmakusuma, M. D, Belyamin, dan Widiyatmoko. (2020). Analisis Eksergi Pada Boiler PLTU. *Jurnal Mekanik Terapan*. 1(1). 45-53.
- Djokosetyardjo, M. J. (2003). *Ketel Uap*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Garg, H. P. (1997). *Industrial Maintenance*. India: S. Chand & Company.
- Holman, J. P. dan Jasjfi, E., (1997). *Perpindahan Kalor* (Edisi ke-6). Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Keenan, J. H., Keyes, F. G., Hill, P. G. and Moore, J. G. (1992). *Steam Tables: Thermodynamic Properties of Water Including Vapor, Liquid, and Solid Phases*. Krieger Pub Co.
- Martono, R.V. (2019). *Analisis Produktivitas dan Efisiensi*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Marzoog, R. J., Al-Zubaidy, S. S. dan Al-Duroobi, A. A. (2020). Study the Effect of Machine Efficiency in Production Lines Balancing. *Engineering and Technology Journal*. 38(9). 1283-1292.
- Pudjanarsa, A. dan Nursuhud, D. (2006). *Mesin Konversi Energi*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Sangputri M. E. dan Safitra A. G. (2015). Perhitungan Efisiensi Boiler Unit 20 PT PJB UBJOM Rembang pada Beban 315 MW dengan Metode Langsung (*Directed Method*). *Jurnal Kerja Praktek*. 1(1). 1-6.
- Sastrohadiwiryo, H. B. S. (2021). *Manajemen Tenaga Kerja Indonesia*. Jakarta: PT Bumi Aksara.
- Sugiharto, A. (2020). Perhitungan efisiensi Boiler dengan metode secara langsung pada Boiler pipa api. *Swara Patra: Majalah Ilmiah PPSDM Migas*. 10(2). 1-6.
- Wuryanti, S. (1995). *Perpindahan Panas dan Penerapannya*. Bandung: Penerbit Pusat Pengembangan Pendidikan Politeknik.

Penentuan Jumlah Produksi Menggunakan Peramalan di UMKM Naga Sakti

Vina Aurelia^{*1)}, dan Fransiska Hernina Puspitasari²⁾

^{1),2)}Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Jl. Babarsari
No.43, Janti, Caturtunggal, Kec. Depok, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia
Email: vinaaurelia5@gmail.com, fransiska.hernina@uajy.ac.id

ABSTRAK

Penumpukan barang merupakan suatu kondisi terlalu banyak barang yang disimpan dalam suatu lokasi. Penumpukan tersebut dapat terjadi ketika jumlah barang yang masuk melebihi barang yang keluar atau barang yang datang tidak memperhitungkan barang yang sudah ada. Masalah penumpukan barang juga terjadi pada di salah satu UMKM yang berada di Yogyakarta yaitu UMKM Naga Sakti Keramik, yang mempunyai penumpukan terletak pada pot hewan. Tujuan dari penelitian ini adalah membantu memprediksi jumlah permintaan pot hewan untuk menentukan jumlah pot yang akan diproduksi menggunakan metode peramalan yang sesuai dengan pola data penjualan pot hewan. Metode peramalan terpilih adalah *Exponential Smoothing with Trend Adjustment* karena memiliki *error* MAPE yang terkecil. Berdasarkan hasil peramalan, jumlah pot jenis hewan yang akan diproduksi sebesar 22 buah.

Kata kunci: : jumlah produksi, penumpukan gerabah, peramalan, pot hewan

1. Pendahuluan

Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM) merupakan penyumbang Produk Domestik Bruto (PDB) Nasional dan memiliki peran penting bagi pemulihan ekonomi Indonesia. Berdasarkan data Kementerian Koperasi dan Usaha Kecil dan Menengah (Kemenkop UKM, 2022), jumlah UMKM di Indonesia telah mencapai sekitar 64,2 juta dengan kontribusi terhadap Produk Domestik Bruto (PDB) sebesar 61,07% atau sekitar Rp 8,573.89 triliun. UMKM dapat menyerap sekitar 97% dari total angkatan kerja dan menghimpun 60,4% dari total investasi di Indonesia. Selain itu, UMKM mempunyai peranan penting dalam menghadapi resesi global karena telah berkontribusi dalam PDB, penyerapan tenaga kerja, ekspor, dan menyerap kredit terbesar (Kemenkeu Indonesia, 2022).

Salah satu masalah yang sering terjadi pada UMKM di bagian produksi adalah manajemen persediaan yang masih kurang. Terdapat beberapa penelitian yang menemukan permasalahan manajemen persediaan di beberapa UMKM seperti biaya yang dikeluarkan lebih besar dari biaya persediaan. Kemudian, pengendalian bahan baku yang belum optimal karena pengadaan bahan baku hanya berdasarkan intuisi. Akibatnya, persediaan UMKM belum dapat memenuhi permintaan konsumen karena kegiatan produksi UMKM belum optimal (Lutfiana, 2020).

Penentuan persediaan yang dialami oleh beberapa UMKM dibahas oleh Ahmad (2020), Raihan dan Herwanto (2021), dan Syahanifadhel (2023). Penentuan jumlah produksi di PT. X sering kali mengalami kendala. Ahmad (2020) menyelesaikan dengan melihat pola data histori permintaan dan memutuskan untuk melakukan peramalan menggunakan metode regresi linear karena pola data bersifat tren. Permasalahan dalam menentukan jumlah produksi juga dialami oleh Raihan dan Herwanto (2021) dan diselesaikan dengan meramalkan menggunakan regresi linear. Metode ini juga dipilih untuk meramalkan permintaan guna menentukan jumlah produksi optimal pada produk kemeja (Syahanifadhel, 2023).

UMKM Naga Sakti adalah produsen gerabah lokal yang terletak di Kasongan, Bantul, DIY. Permasalahan yang ditemukan pada UMKM ini adalah penentuan jumlah produksi

gerabah yang seringkali melesat yang menyebabkan penumpukan barang. Oleh karena itu, penelitian ini membantu UMKM Naga Sakti untuk menentukan jumlah yang akan diproduksi menggunakan dasar histori data permintaan dengan melakukan peramalan.

2. Metode

Pada penelitian yang digunakan menggunakan metode peramalan untuk membantu untuk meramalkan produksi gerabah untuk ke depannya beedasarkan pola dari penjualan gerabah. Menurut Hyndman (2021), *Forecasting* atau peramalan merupakan suatu teknik manajemen yang berfungsi untuk memperkirakan penjualan suatu produk atau layanan dalam unit untuk periode tertentu di masa yang akan datang. Pada zaman sekarang, semua organisasi beroperasi dalam suasana ketidakpastian dikarenakan perubahan teknologi yang sangat cepat, keterlibatan organisasi dalam pemerintahan seperti perubahan ekonomi, sosial, dan politik yang sangat tergantung pada peramalan penjualan dan juga kekuatan lain yang mempengaruhi operasi. Peramalan harus seakurat mungkin agar perusahaan dapat bertahan.

Berdasarkan data yang didapatkan, pola dari penjualan gerabah adalah pola Tren Non-linear dan metode peramalan yang sesuai adalah *Exponential Smoothing with Trend Adjustment*. Metode tersebut didapatkan setelah membandingkan nilai *error measurement* dengan beberapa metode peramalan yaitu *Single Moving Average 3 periode*, *Linear Regression*, *Double Exponential Smoothing by Holt* dan *Arima to Sarima*.

Menurut Reid & Sanders (2013), pada metode *Exponential Smoothing with Trend Adjustment* terdapat tiga perhitungan yang digunakan untuk mendapatkan peramalan periode berikutnya yaitu *level*, *trend*, dan *forecast*. Kemudian terdapat *variable* yang mempengaruhi perhitungan level yaitu *alfa* dan *beta* untuk perhitungan *trend*. Rumus yang digunakan untuk perhitungan *level*, *trend*, dan *forecast* dapat dilihat pada Persamaan 1 sampai Persamaan 3.

$$L(t) = \alpha * Y_t + (1 - \alpha) * (L_{t-1} + T_{t-1}) \quad (1)$$

$$T(t) = \beta * (L_t - (L_{t-1})) + (1 - \beta) * T_{t-1} \quad (2)$$

$$Y_{t+1} = L_t + 1T_t \quad (3)$$

Keterangan:

L_t = *Level* (nilai peramalan) untuk periode t

Y_t = Nilai data aktual untuk periode t

α = Konstanta penghalusan

β = Konstanta penyesuaian tren

L_{t-1} = *Level* (nilai peramalan) untuk periode sebelumnya

T_{t-1} = *Tren* untuk periode sebelumnya

T_t = *Tren* untuk periode t

Y_{t+1} = Peramalan untuk periode selanjutnya

Menurut Toomey (2000), *error measurement* digunakan untuk mengukur kesalahan dari perhitungan peramalan yang telah diramalkan kemudian hari. Selain itu, *error measurement* yang tepat akan membantu untuk meningkatkan keakuratan peramalan dimasa depan. Pada saat meninjau peramalan, langkah pertama yang dilakukan adalah memahami alasan penyimpangan.

Tinjauan data peramalan mungkin dapat menunjukkan pembacaan yang berbeda dari hasil peramalan karena kesalahan entri data atau faktor yang tidak terduga seperti cuaca atau penjualan. Kesalahan dari hasil peramalan dapat dilihat dari tiga perhitungan yaitu MAD (*Mean Absolute Deviation*), MSE (*Mean Squared Error*), dan MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*). Ketiga perhitungan *error* tersebut akan dibandingkan berdasarkan metode peramalan yang digunakan dan diambil dari yang terkecil. Rumus dari MAD, MSE, dan MAPE dapat dilihat pada Persamaan 4 sampai Persamaan 6 (Heizer, 2021).

$$MAD = \frac{\sum |A_t - F_t|}{n} \quad (4)$$

Keterangan:

MAD = *Mean Absolute Deviation*

A_t = Data aktual

F_t = Hasil peramalan

n = Banyak data

$$MSE = \frac{\sum (A_t - F_t)^2}{n} \quad (5)$$

Keterangan:

MSE = *Mean Squared Error*

$\sum (A_t - F_t)^2$ = Total *error squared*

n = Banyak data

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|A_t - F_t|}{A_t} \quad (6)$$

Keterangan:

MAPE = *Mean Absolute Percentage Error*

A_t = Data aktual

F_t = Hasil peramalan

n = Banyak data

3. Hasil dan Pembahasan

UMKM Naga Sakti Keramik merupakan produsen dari berbagai jenis gerabah, patung, guci, dan teraso yang terletak di Kasongan RT 05, Kajen, Bangunjiwo, Kec. Kasihan, Kab. Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta 55184. UMKM Naga Sakti Keramik telah berdiri sejak tahun 1972 dan sekarang dikelola oleh anak dari pemilik sebelumnya. Naga Sakti Keramik merupakan salah satu UMKM yang berasal dari daerah Yogyakarta dan bergerak di bidang gerabah. Naga Sakti Keramik mempunyai dua bangunan utama yaitu tempat produksi dan tempat display produk. Produk utama yang terdapat di UMKM Naga Sakti Keramik adalah pot dan vas dengan ukuran berbagai jenis dan bentuk. Selain kedua produk tersebut juga terdapat produk patung dan teraso. Pada UMKM terdapat permasalahan terjadi penumpukan pot hewan sekitar 23% atau 30 buah pot hewan. Selain itu, karena UMKM tidak mempunyai gudang maka

barang yang diproduksi akan langsung diletakkan di *display* toko sehingga membuat ruang gerak semakin sempit karena terjadi penumpukan barang.

Berdasarkan hasil wawancara, terdapat beberapa masalah yang dikeluhkan, antara lain tidak dapat menentukan jumlah produksi yang sesuai dengan permintaan pasar karena jumlah produksi hanya berasal dari perkiraan *owner* dan sering menjual gerabah dengan harga yang murah karena produk sudah lama disimpan. Produk yang dipilih untuk diteliti pada penelitian ini adalah pot jenis hewan karena pot tersebut mengalami penumpukan lebih banyak daripada pot jenis lainnya.

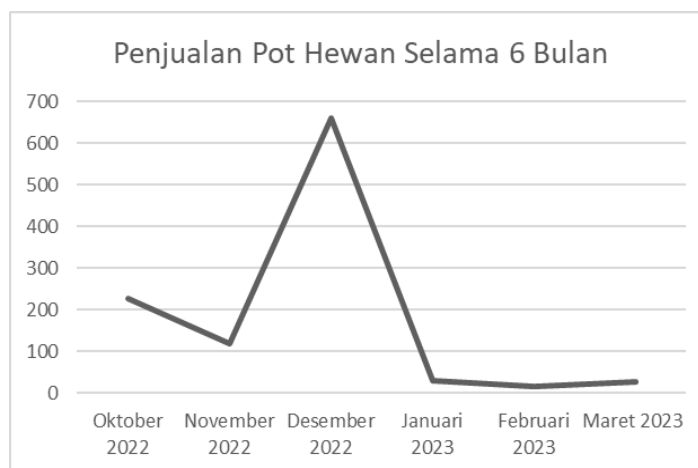
3.1. Rekapitan Permintaan Pot Hewan

Pada UMKM Naga Sakti Keramik terdapat banyak jenis produk dan pada penelitian ini akan membahas mengenai produk pot hewan. Pada UMKM, terdapat berbagai jenis pot hewan dan ukuran dari pot tersebut. Pada UMKM tidak memiliki pencatatan penjualan yang baik sehingga pengambilan data penjualan harus dilakukan secara langsung agar dapat melihat pola permintaan dari penjualan pot hewan. Oleh karena itu, data yang didapatkan selama observasi hanya sebanyak 6 bulan dan tidak dapat ditambahkan. Rekapitan penjualan pot hewan selama 6 bulan dari Oktober 2023 sampai Maret 2023 dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Rekapitan Penjualan Pot Hewan Selama 6 Bulan

Bulan	Penjualan
Oktober 2022	228
November 2022	118
Desember 2022	660
Januari 2023	31
Februari 2023	16
Maret 2023	28

Kemudian, grafik penjualan pot hewan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik Penjualan Pot Hewan

Berdasarkan Tabel 1 dan Gambar 1, dapat diketahui bahwa penjualan pot tertinggi pada bulan Desember 2022 yaitu 660 buah. Pola dari permintaan pot hewan berdasarkan data penjualan adalah grafik pola permintaan tren, karena pola permintaan paling tinggi pada Desember 2022 dan di rentang waktu selama 6 bulan tidak terjadi kenaikan atau penurunan

yang signifikan. Selain itu, pola data pada pot hewan adalah pola data *trend non-linear* karena pola perubahan penjualan tidak konstan.

3.2. Metode Peramalan Terpilih

Setelah melakukan percobaan dengan metode yang cocok untuk pola data tren yaitu metode *moving average*, *exponential smoothing with trend adjustment*, dan *exponential regression non-linear*. Langkah selanjutnya adalah membandingkan ketiga metode tersebut yang menghasilkan MAPE yang paling kecil maka metode tersebut yang akan digunakan untuk perhitungan peramalan. Hasil perhitungan MAPE berdasarkan metode yang diuji coba dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan MAPE Berdasarkan Metode yang Diuji Coba

Metode	MAPE
<i>Moving Average 2 bulan</i>	826,018%
<i>Exponential Regression Non-Linear</i>	70%
<i>Exponential Smoothing With Trend Adjustment</i>	5,5%

Berdasarkan Tabel 2, dapat diketahui bahwa metode yang menghasilkan MAPE yang paling kecil diantara ketiga metode adalah *metode Exponential Smoothing with Trend Adjustment* yaitu 6%. Oleh karena itu, untuk peramalan periode berikutnya akan menggunakan metode *Exponential Smoothing with Trend Adjustment*. Metode peramalan yang terpilih akan digunakan untuk melakukan peramalan untuk 3 bulan ke depan dan setelah 3 bulan tersebut perlu dilakukan evaluasi terhadap hasil peramalan yang digunakan.

3.3. Hasil Peramalan Menggunakan Metode Terpilih

Berdasarkan metode peramalan yang terpilih yaitu metode *Exponential Smoothing with Trend Adjustment* dengan nilai Alfa dan Beta 0,9 dan 0,1 maka langkah selanjutnya adalah melakukan peramalan untuk produksi pot bulan selanjutnya. Hasil dari peramalan tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Peramalan Metode *Exponential Smoothing with Trend Adjustment*

Periode	Y_t (buah)	Level	Trend	Y_{t+1} (buah)	$ x_i - \bar{x} $	$ x_i - \bar{x} ^2$	$\frac{ x_i - \bar{x} }{x_i}$
1	228	205,2	20,52	228	0	0	0%
2	118	128,772	10,825	226	108	11664	1%
3	660	607,959	57,661	140	520	270400	1%
4	31	94,462	0,545	666	635	403225	20%
5	16	23,900	-6,565	96	80	6400	5%
6	28	26,933	-5,605	18	10	100	0%
						MSE	115.298,2
						MAD	225,5
						MAPE	5,5%

Berdasarkan Tabel 3, dapat diketahui bahwa MSE adalah 115.289,2, MAD adalah 225,5 dan MAPE adalah 6%. Kemudian untuk perhitungan peramalan pada periode 7 dapat menggunakan persamaan 3.

$$Y_{t+1} = L_t + 1T_t \quad (3)$$

$$Y_{t+1} = 26,93 + 1(-5,61)$$

$$Y_{t+1} = 21,32 \approx 22$$

4. Simpulan

Berdasarkan hasil solusi yang digunakan yaitu perhitungan peramalan menggunakan metode *Exponential Smoothing with Trend Adjustment*, jumlah pot jenis hewan yang harus diproduksi pada periode 7 sebanyak 22 buah. Metode *Exponential Smoothing with Trend Adjustment* dipilih karena menghasilkan *error* MAPE yang terkecil sebesar 6%.

Daftar Pustaka

- Heizer, J., & Render, B. (2021). *Operations management: sustainability and supply chain management, global edition (13th ed.)*. United States: Wiley.
- Hyndman, R. J., & Athanasopoulos, G. (2021). *Forecasting: principles and practice*. OTexts.
- Kementerian Keuangan Republik Indonesia. (2022). Peran Penting UMKM dalam Ancaman Isu Resesi. Diakses pada 3 Agustus 2023 <https://www.djkn.kemenkeu.go.id/kpkn-balikpapan/baca-artikel/15677/Peran-Penting-UMKM-dalam-Ancaman-Isu-Resesi.html>
- Kementerian Koordinator Bidang Perekonomian Republik Indonesia. (2022). UMKM Menjadi Pilar Penting dalam Perekonomian Indonesia. Diakses pada 3 Agustus 2023 <https://ekon.go.id/publikasi/detail/2969/umkm-menjadi-pilar-penting-dalam-perekonomian-indonesia>
- Lutfiana, L. (2020). Analisis Manajemen Persediaan UMKM Jazid Bastomi Batik di Purworejo. *Jurnal Ekonomi Syariah, Akuntansi, dan Perbankan*, 4(1), 55-66.
- Reid, R. D., & Sanders, N. R. (2020). *Operations management: an integrated approach (7th ed.)*. United States: Wiley.
- Rusnadi, A. R., & Herwanto, D. (2021). Perencanaan jadwal induk produksi komponen band komp battery di PT. Mada Wikri Tunggal. *STRING (Satuan Tulisan Riset dan Inovasi Teknologi)*, 5(3), 299-306.
- Syahanifadhel, M. V., Basuki, D. E., Hasna, B. A., & Azzam, A. Analisis perencanaan produksi pada produk kemeja pola menggunakan metode forecasting dan master production schedule untuk penjadwalan produksi pada CV. Jodion Unggul Perkasa. *Jurnal Teknik Industri: Jurnal Hasil Penelitian dan Karya Ilmiah dalam Bidang Teknik Industri*, 9(1), 95-104.
- Toomey, J. W. (2000). *Inventory management: principles, concepts, and techniques (Vol. 12)*. Springer Science & Business Media.

Perancangan Perbaikan Tata Letak Industri *Ginger Leather Candies* di CV Sari Sehat, Bogor

Hartrisari Hardjomidjojo, Muhammad Arif Darmawan, Elisa Anggraeni, Diaswan

¹Program Pendidikan Profesi Insinyur, IPB University,

Jl. Raya Dramaga, Kampus IPB Dramaga Bogor 16680, Jawa Barat, Indonesia

²Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB University,

Jl. Raya Dramaga, Kampus IPB Dramaga Bogor 16680, Jawa Barat, Indonesia

Email: hartrisari@apps.ipb.ac.id, arifdarmal@apps.ipb.ac.id, elisaanggraeni@apps.ipb.ac.id,
diaswannrafi@apps.ipb.ac.id

ABSTRAK

CV Sari Sehat merupakan sebuah usaha skala mikro yang memproduksi berbagai jenis produk herbal seperti simplisia, bubuk herbal, minuman herbal instan, sirup dan jelly rosella. Peningkatan permintaan produk berbahan dasar jahe mendorong Sari Sehat untuk mengembangkan produk inovatif berbasis jahe yang dikenal dengan produk *ginger leather candy*. Untuk mengembangkan produk tersebut, CV Sari Sehat bekerjasama dengan Departemen Teknologi Industri Pertanian, IPB University. Formula optimal dari permen kulit jahe telah dikembangkan dan diproduksi sebagai produk baru dalam kemitraan tersebut. Sebagai tindak lanjut dari pengembangan formulasi, maka CV Sari Sehat harus menata ulang fasilitas produksi, yaitu ruang dan tata letak dari kondisi awal. Metode yang dipakai dalam penelitian adalah *Sistematis Layout Planning (SLP)*. Algoritma *CORELAP (Computerized Layout Planning)* juga digunakan untuk mengalokasikan tata letak. Simulasi untuk desain tata letak menunjukkan bahwa ruang yang dibutuhkan adalah 16.09m² dengan total jarak pengalihan material adalah 41,46 meter

Kata kunci: *CORELAP ginger leather candy, Systematic Layout Planning, tata letak*

1. Pendahuluan

CV Sari Sehat adalah sebuah usaha skala mikro yang didirikan pada tahun 2006 di Tegal Waru, Ciampea, Bogor. CV Sari Sehat memfokuskan diri pada produksi berbagai jenis produk herbal olahan seperti simplisia, bubuk herbal, minuman herbal instan, sirup dan jeli rosella. Sejak tahun 2021, CV Sari Sehat telah mengembangkan produk baru minuman instan berbasis jahe dengan kandungan gula yang rendah, bekerja sama dengan Departemen Teknologi Industri Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Jahe adalah tanaman obat yang umum digunakan sebagai rempah atau obat. Jahe menjadi salah satu tanaman herbal potensial di Indonesia dan luar negeri. Pada tahun 2022, produksi jahe di Indonesia mencapai 247 juta kilogram, meningkat 35% dari tahun 2020 yang hanya 183 juta kilogram (BPS, 2022). Produk CV Sari Sehat yang menjadi favorit konsumen saat ini adalah minuman instan herbal jahe (termasuk produk dengan kandungan gula yang rendah) dan bubuk jahe. Berdasarkan hal tersebut, CV Sari Sehat berusaha terus mengembangkan produk baru berbasis jahe. Kerja sama dengan Departemen Teknologi Industri Pertanian, Institut Pertanian Bogor sejak tahun 2020 merencanakan produksi produk inovatif berbasis jahe. CV Sari Sehat berencana untuk membuat diversifikasi produk *ginger leather candies (GLC)*. Produk baru ini merupakan permen dalam bentuk lembaran. Dengan memproduksi produk ini, CV Sari Sehat perlu menyediakan peralatan baru yang akan ditempatkan di ruang produksi yang ada. Hal ini akan membuat penataan baru tata letak di ruang produksi. Salah satu metode yang dapat diterapkan untuk merancang tata letak fasilitas produksi adalah *Systematic Layout Planning (SLP)*.

SLP adalah prosedur yang digunakan dalam industri untuk merancang tata letak kerja dengan memperhatikan interaksi antara stasiun kerja untuk memaksimalkan efisiensi desain yang ada (Suhardini et al. 2017). Pendekatan prosedural SLP ini menjadi populer dan sering

digunakan dalam merancang tata letak untuk usaha kecil dan menengah (Naqvi et al. 2016). Metode SLP ini dapat meningkatkan aliran material dan optimasi penggunaan ruang di pabrik (Shewale et al. 2012). Penelitian ini bertujuan untuk merancang tata letak produksi *ginger leather candy* dengan mengoptimalkan ruang kosong di ruang produksi menggunakan *Systematic Layout Planning*

2. Metode

Perancangan perbaikan tata letak menerapkan metode SLP. Prinsip-prinsip Perencanaan SLP terdiri dari empat tahap. Tahap pertama melibatkan pengumpulan data yang penting, diikuti dengan analisis data yang detail. Tahap kedua adalah menghitung persyaratan tata letak, termasuk hubungan antar aktivitas dan menetapkan prioritas. Tahap ketiga berfokus pada desain tata letak detail dengan mempertimbangkan semua aspek relevan. Akhirnya, tahap implementasi dilakukan melalui persetujuan pemilik untuk mendukung tata letak yang diusulkan. Pada kegiatan ini tahap implementasi dilakukan melalui simulasi terhadap total pergerakan bahan baku.

2.1. Pengumpulan dan Analisis Data

Analisis kondisi saat ini pada CV Sari Sehat melibatkan pengumpulan data PQRSST (*Product, Quantity, Routing, Supporting, Time*) pada proses produksi GLC. Dalam hal ini produk adalah GLC dengan jumlah produksi yang disesuaikan dengan hasil penelitian sebelumnya. Peralatan penunjang produksi GLC juga dibahas sesuai alur proses produksi beserta waktu produksi.

2.2. Identifikasi Persyaratan Tata Letak di CV Sari Sehat, analisis area kerja dan hubungan antar aktivitas.

Identifikasi persyaratan desain dan tata letak bangunan/fasilitas mengikuti peraturan BPOM nomor HK.03.1.23.04.12.12.2206 tahun 2012 tentang Metode Produksi Makanan yang Baik untuk Industri Rumah Tangga. Analisis area kerja melibatkan perhitungan dimensi mesin dan area kerja operator, penyesuaian alokasi sambil mempertimbangkan ruang yang tersedia di CV Sari Sehat. Penentuan alokasi ini disesuaikan berdasarkan aktivitas di setiap area kerja dan memastikan bahwa total luas tata letak yang diusulkan sesuai dengan ruang yang tersedia.

Hubungan Aktivitas digunakan untuk menilai kepentingan relatif setiap aktivitas, yang membantu mengidentifikasi lokasi stasiun kerja yang harus ditempatkan berdampingan dan yang harus dipisahkan (Darmawan, 2017). Hubungan yang erat antara aktivitas atau stasiun kerja direpresentasikan oleh simbol A, E, I, O, U, dan X dan nilai kedekatan seperti tertera pada Tabel 1. Kode A menyatakan bahwa hubungan aktivitas antar kegiatan sangat erat sehingga lokasi harus berdekatan, dan seterusnya hingga kode X yang menyatakan bahwa hubungan aktivitas antar kegiatan harus terpisah. Data dari hubungan aktivitas ini akan berfungsi sebagai masukan dalam proses desain tata letak menggunakan algoritma *Computerized Relationship Layout Planning* (CORELAP).

Tabel 1. Nilai hubungan antar aktivitas atau stasiun kerja

Kode	<i>Closeness rating</i>	Nilai <i>closeness rating</i>
A	<i>Absolutely necessary</i>	3 ⁴
E	<i>Especially necessary</i>	3 ³
I	<i>Important</i>	3 ²
O	<i>Ordinary</i>	3 ¹
U	<i>Unimportant</i>	3 ⁰
X	<i>Indesirable</i>	0

Sumber : Apple 1990

2.3 Desain Tata Letak dengan algoritma CORELAP

Dalam mendesain alternatif tata letak digunakan algoritma CORELAP dengan cara menghitung terlebih dahulu nilai *Total Closeness Rating* (TCR) berdasarkan hubungan antar aktivitas. Perhitungan TCR dilakukan untuk setiap aktivitas atau stasiun kerja sesuai dengan hasil analisis hubungan aktivitas berdasarkan nilai yang telah ditentukan pada tabel 1 di atas. Hasil perhitungan nilai TCR digunakan sebagai referensi dalam penentuan ruang untuk desain tata letak. Formula untuk menghitung *Total Closeness Rating* adalah sebagai berikut:

$$TCR = \sum \text{Activity Relationship Score} \quad (1)$$

Aktivitas dengan nilai TCR tertinggi akan ditempatkan pertama kali dalam matriks (Siregar et al. 2013). Aktivitas atau stasiun kerja tersebut akan ditempatkan di tengah dan dikelilingi oleh ruang kosong yang diberi kode huruf. Aktivitas atau stasiun kerja kedua yang ditempatkan adalah ruang dengan hubungan "A" dengan aktivitas pertama, dilanjutkan dengan E, I, O, U, dan X. Proses ini berlanjut sampai semua aktivitas atau stasiun kerja ditempatkan dalam matriks.

3. Hasil dan Pembahasan

Saat ini, CV Sari Sehat memiliki ruang produksi yang digunakan untuk memproduksi berbagai produk yang dijual saat ini. Ruang produksi ini terpisah dari gudang bahan baku. Dimensi ruang produksi adalah 7,7 m x 4,7 m (luas 36,19 m²) dilengkapi dengan dua pintu; satu sebagai pintu masuk di sisi barat dan yang lain sebagai pintu keluar di sisi utara. Saat ini baru sejumlah 13,63 m² dari total luas ruang produksi yang digunakan untuk produksi produk regulernya, sehingga masih tersedia ruang yang dapat digunakan untuk memproduksi *ginger leather candies*.



Gambar 1. Ruang produksi di CV Sari Sehat

3.1. Identifikasi data PQRST

Langkah awal untuk desain tata letak menggunakan metode SLP adalah mengumpulkan informasi terkait aktivitas produksi *ginger leather candies*. Informasi yang dikumpulkan terkait lima faktor yaitu tentang Produk (P), Kuantitas (Q), Routing (R), Layanan Pendukung (S), dan Waktu (T) (Muther dan Hales 2015).

Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya tentang formulasi terbaik dari pembuatan *GLC* diketahui bahwa dari total bahan baku jahe merah sebanyak 2,3 kg, dihasilkan produk *GLC* sejumlah 1,7 kg atau 720 unit (dalam lembaran). Produksi *GLC* dilakukan dengan jadwal dua kali seminggu dengan catatan agar tidak mengganggu proses produksi produk reguler CV Sari Sehat yang diproduksi saat ini. CV Sari Sehat perlu menyediakan fasilitas tambahan untuk proses produksi *GLC* yang diidentifikasi melalui proses produksinya termasuk fasilitas pendukungnya. Proses produksi *GLC* dimulai dengan sortasi dari bahan baku jahe, pencucian agar bersih dari kotoran, pengupasan, persiapan bahan, pemasakan (dalam oven), pengemasan dan penyimpanan.

Waktu yang dibutuhkan untuk memproduksi *GLC* adalah 22,5 jam. Waktu yang relatif lama ini disebabkan karena proses pengeringan menggunakan oven berlangsung selama 20 jam. Waktu yang digunakan untuk menyiapkan bahan baku di dalam oven adalah 1 jam, dan waktu untuk proses pengemasan adalah 1,5 jam.

3.2. Identifikasi fasilitas produksi dan kebutuhan ruang

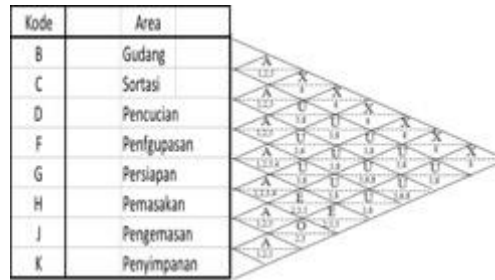
Rencana memproduksi *GLC* membuat CV Sari Sehat perlu menambah beberapa peralatan seperti mesin pengupas, mesin penekan, dan mesin penutup. Persyaratan kebutuhan luasan untuk setiap stasiun kerja ditentukan dengan menghitung dimensi fasilitas termasuk operator yang akan digunakan di ruang tersebut dan menambahkan ruang yang diperlukan agar pekerja dapat bergerak dengan nyaman.

Tabel 2 menunjukkan area yang dibutuhkan untuk memproduksi *GLC*, sementara total area yang tersedia di CV Sari Sehat adalah 22,56 m², sehingga area untuk produksi permen jahe kulit sebagai produk baru dapat disediakan oleh CV Sari Sehat.

Tabel 2. Kebutuhan luas ruangan untuk produksi *ginger leather candies*

Area	Alat/mesin	Panjang	Lebar	Ruang Gerak	Total luas (m ²)
Sortasi	meja	1.02	0.84	0.54	2.1
Pencucian	Wastafel	0.87	0.63	0.54	
	Area pencucian	1	0.9	0.54	3.79
Pengupasan	mesin pengupas	0.45	0.56	0.54	
	mesin penekan	0.28	0.22	0.54	2.1
Persiapan	meja	1.02	0.84	0.54	2.09
Pemasakan	Kompor	1.12	0.81	0.54	2.17
Pengemasan	Meja	1.02	0.84	0.54	2.09
Penyimpanan	rak	1.82	0.58	0.54	1.75
				TOTAL	16.09

Activity Relation Chart (ARC) atau grafik hubungan antar aktifitas dirumuskan berdasarkan koneksi antar stasiun-stasiun kerja. CV Sari Sehat telah menguraikan delapan aktivitas/stasiun kerja dalam pemetaan proses produksi *GLC*, yang semuanya saling terhubung sesuai dengan ketentuan pada tabel 1. Gambar 2 menampilkan grafik hubungan aktivitas untuk produksi *GLC*.



Gambar 2. Hubungan antar aktifitas untuk produksi GLC

3.3. Desain tata letak menggunakan CORELAP

Berdasarkan grafik hubungan aktivitas, *Total Closeness Rating* dihitung untuk menentukan aktivitas yang akan ditempatkan pertama pada CORELAP. Perhitungan ini didasarkan pada simbol-simbol yang terdapat dalam Grafik Hubungan Aktivitas yang akan menjadi nilai kuantitatif dalam bentuk urutan kedekatan numerik seperti yang dinyatakan sebelumnya pada tabel 1 ($A= 3^4$, $E= 3^3$, $I= 3^2$, $O= 3^1$, $U= 3^0$, $X= 0$). Penentuan alokasi pertama diperoleh dengan melihat nilai TCR tertinggi. Setelah itu, fasilitas berikutnya akan diperoleh dari nilai derajat kedekatan tertinggi dari fasilitas yang telah dialokasikan sebelumnya (Permana 2013). Hasil dari *Total Closeness Rating* dapat dilihat di Tabel 2.

Berdasarkan tabel tersebut, terlihat bahwa area persiapan (simbol G) memiliki nilai tertinggi, menunjukkan bahwa aktivitas ini akan ditempatkan pertama dalam algoritma CORELAP. CORELAP, yang merupakan singkatan dari *Computerized Relationship Layout Planning*, adalah algoritma penentuan tata letak fasilitas dengan memperhitungkan nilai Total Closeness Rating (TCR) dari setiap stasiun kerja.

Tabel 3. Hasil perhitungan *Total Closeness rating* untuk produksi *ginger leather candies* di CV Sari Sehat

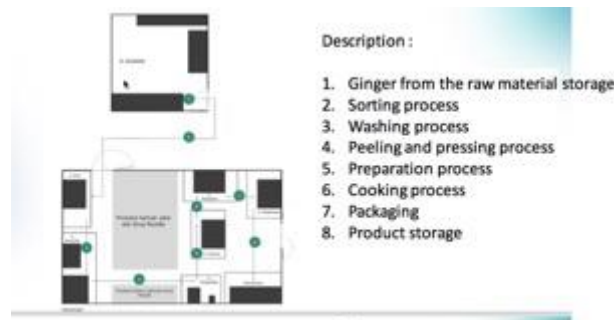
Area	Area										TCR	Ranking				
	B	C	D	F	G	H	J	K	A	E			I	O	U	X
B	-	A	X	X	X	X	X	X	1	0	0	0	0	6	81	
C	A	-	A	U	U	U	U	U	2	0	0	0	5	0	167	
D	X	A	-	A	U	U	U	U	2	0	0	0	4	1	166	
F	X	U	A	-	A	U	U	1	2	0	1	0	3	1	174	2
G	X	U	U	A	-	A	E	E	2	2	0	0	2	1	218	1
H	X	U	U	U	A	-	A	O	2	0	0	1	3	1	168	
J	X	U	U	U	E	A	-	A	2	1	0	0	3	1	192	
K	X	U	U	I	E	O	A	-	1	1	1	1	2	1	122	

Hasil perhitungan ini mencakup derajat kedekatan pada grafik hubungan aktivitas, aliran barang, perpindahan, dan persyaratan ruang (Dwianto 2016). Algoritma ini mengalokasikan ruang dalam tata letak menggunakan matriks tepi barat. Alokasi ruangan dimulai dengan menempatkan area dengan nilai TCR tertinggi, yang dalam hal ini adalah area persiapan (G). Gambar 3 menunjukkan hasil dari algoritma CORELAP.



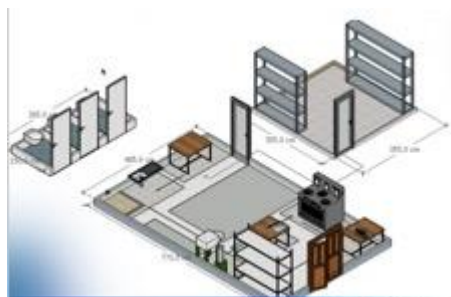
Gambar 3. Hasil dari algoritma CORELAP

Hasil desain tata letak menunjukkan bahwa pola aliran bahan yang terbentuk dari tata letak yang diusulkan adalah pola aliran bahan zig-zag. Pola ini digunakan ketika luasan aliran proses produksi lebih panjang daripada area yang tersedia (Parwati dan Sugandi 2011). Pola aliran ini dipilih karena mengikuti kondisi riil yang ada di CV Sari Sehat, di mana ruang produksi dinyatakan kurang lebar dan terdapat dua pintu sebagai pintu masuk dan keluar. Untuk tujuan visualisasi, gambar 2D dan 3D tersedia dalam Gambar 4 dan Gambar 5. Kedua visualisasi disajikan dalam skala 1:1, sesuai dengan ukuran CV Sari Sehat.



Gambar 4. Tata Letak yang disarankan dalam 2D untuk produksi GLC

Tata letak yang disarankan dalam *form 3D* diilustrasikan pada Gambar 5.

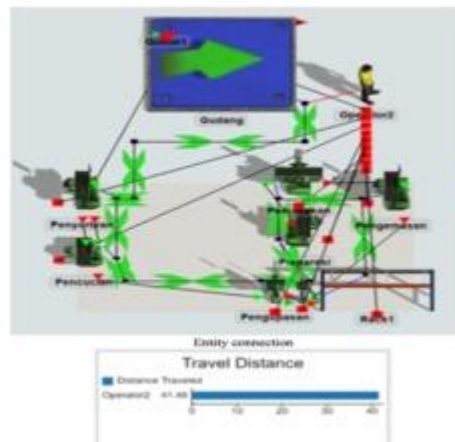


Gambar 5. Tata letak yang disarankan dalam 3D untuk produksi

3.5. Simulasi pergerakan bahan baku dalam usulan desain tata letak

Menurut Siska dan Sabri (2016), simulasi berarti peniruan atau upaya meniru suatu sistem nyata, yang menjadi objek kajian untuk menemukan jawaban permasalahan sistem. Simulasi tata letak dilakukan untuk mengetahui jarak perpindahan material yang terjadi pada saat tata letak usulan akan diimplementasikan. Simulasi tata letak usulan dilakukan menggunakan *software* Flexsim 2023 dengan menginput desain 2D yang telah dibuat sebelumnya dan memastikan jarak setiap area sesuai dengan perhitungan sebelumnya. Hasil simulasi

menunjukkan bahwa total pergerakan bahan baku sebesar 41,46 meter. Arah pergerakan dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil simulasi total pergerakan bahan baku

4. Simpulan

CV Sari Sehat memberikan ruang bagi produksi *GLC* sebagai produk baru. Total luas area produksi yang dibutuhkan untuk proses produksi *GLC* adalah sebesar 16,09 m². Berdasarkan hasil simulasi, maka pergerakan total bahan baku dalam proses adalah sebesar 41,46 m. Kerja sama kemitraan antara CV Sari Sehat dengan Departemen Teknologi Industri Pertanian, IPB University memberikan keuntungan bagi kedua pihak. Program tersebut selanjutnya dilanjutkan dengan produksi pada skala komersial.

Daftar Pustaka

- Apple JM. 1990. *Plant Layout and Material Handling Third Edition*. New York (US): John Wiley & Sons
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2020. *Produksi tanaman biofarmaka 2020–2022*. Jakarta (ID): Badan Pusat Statistik
- Darmawan MA. 2017. *Perancangan Tata Letak Pabrik*. Yogyakarta (ID): Penerbit Deepublish.
- Muther R., Hales L. 2015. *Systematic Layout Planning Fourth Edition*. United States (US) : Management & Industrial Research Publications.
- Naqvi SAA, Fahad M, Atir M, Zubair M, Shehzad MM. 2016. *Productivity improvement of a manufacturing facility using systematic layout planning*. *Cogent Engineering*. 3(1): 1-13.
- Parwati N, Sugandi I. 2011. Perbaikan sistem kerja dan aliran material pada pt. M-motors and manufacturing. *Jurnal Inovisi*. 7(2): 64-68 [PerBPOM]. Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan Nomor HK.03.1.23.04.12.12.2206 Tentang Cara Produksi Pangan yang Baik untuk Industri Rumah Tangga
- Shewale PP, Shete MS, Sane SM. 2012. *Improvement in plant layout using Systematic Layout Planning (SLP) for increased productivity*. *International Journal of Advanced Engineering Research and Studies*. 1(3): 59-61.
- Siregar RM, Sukatendel D, Tarigan U. 2013. Perancangan ulang tata letak fasilitas produksi dengan menerapkan algoritma blocplan dan algoritma corelap pada PT.XYZ. *Jurnal Teknik Industri FT USU*. 1(1): 35-44
- Siska M, Sabri F. 2016. Rancang ulang dan simulasi tata letak rantai produksi menggunakan metode pairwise exchange di pt. Alam Permata Riau. *Jurnal Sains, Teknologi dan Industri*. 13(2): 249-257
- Suhardini D, Septiani W, Fauziah S. 2017. *Design and simulation plant layout using systematic layout planning*. *Materials Science and Engineering*. 277(1): 1-8.

Validasi Perencanaan Produksi Produk *Aerostructure* Menggunakan Metode *Rough Cut Capacity Planning* Dengan Pendekatan CPOF Departemen *Production Planning* PT Dirgantara Indonesia

Btara Aryanda^{*1)}, Bambang Suhardi²⁾

¹⁾²⁾Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir Sutami No. 36,
Ketingan, Jebres, Surakarta, 57126, Indonesia

Email: btaraarya@student.uns.ac.id, bambangsuhardi@staff.uns.ac.id

ABSTRAK

Dalam era globalisasi dan persaingan industri yang semakin ketat, perencanaan produksi yang efektif sangat penting bagi perusahaan. Penelitian ini bertujuan untuk memvalidasi perencanaan produksi *aerostructure* di PT Dirgantara Indonesia menggunakan metode *Rough Cut Capacity Planning* (RCCP). Metode ini berfungsi untuk mengidentifikasi kapasitas produksi perusahaan, mengevaluasi kesesuaian kapasitas dengan jadwal produksi, serta mengusulkan strategi peningkatan kapasitas. Melalui studi lapangan, observasi, dan analisis data, ditemukan bahwa beberapa *work center* diperkirakan akan mengalami *underload* dan *overload* dalam beberapa tahun mendatang. Untuk mengatasi masalah ini, diusulkan berbagai strategi peningkatan kapasitas, seperti penambahan tenaga kerja, penambahan shift, perbaikan dan pembelian mesin baru, redistribusi *load*, dan penambahan waktu lembur. Setelah simulasi strategi tersebut, hasil menunjukkan bahwa perusahaan dapat mengatasi masalah *overload* yang diproyeksikan, meskipun beberapa *work center* masih mengalami *underload*, sehingga diperlukan penelitian lanjutan untuk mengevaluasi lebih lanjut. Penelitian ini memberikan pemahaman mendalam tentang perencanaan produksi *aerostructure* di PTDI dan menyarankan langkah-langkah strategis untuk mengoptimalkan produksi.

Kata kunci: : Kapasitas produksi, metode RCCP, *aerostructure*, PT Dirgantara Indonesia, penambahan kapasitas

1. Pendahuluan

Sistem Produksi merupakan kumpulan dari beberapa elemen kerja yang saling berinteraksi dan saling menunjang dalam melaksanakan proses produksi. Dalam sistem produksi terjadi suatu proses transformasi nilai tambah untuk mengubah *input* menjadi *output* yang memiliki nilai jual. Elemen utama dalam sistem produksi adalah *input*, proses dan *output* serta adanya *feedback* (umpan balik) untuk pengendalian sistem produksi tersebut agar terjadi perbaikan secara terus menerus (Anggriani dkk., 2015).

Pertumbuhan industri penerbangan Indonesia yang signifikan dalam beberapa tahun terakhir menciptakan tantangan dan peluang sejalan dengan dinamika pasar global. Dalam konteks ini, PT Dirgantara Indonesia merupakan perusahaan produsen pesawat terbang dan produsen *aerostruktur* di Indonesia. Seiring dengan perkembangan industri penerbangan global, PT Dirgantara Indonesia telah memposisikan diri sebagai salah satu *subcontractor* utama bagi perusahaan-perusahaan penerbangan ternama seperti Airbus, BEL, Boeing, dan lainnya dalam pembuatan *aerostructure* dengan skala global. *Aerostructure* adalah istilah yang merujuk pada komponen struktural dalam industri penerbangan yang terkait dengan desain, pembuatan, dan perakitan struktur pesawat terbang. Ini mencakup bagian-bagian seperti sayap, ekor, badan pesawat, dan komponen struktural lainnya yang membentuk kerangka atau rangkaian utama pesawat.

Dalam menghadapi persaingan global dan memastikan keberlanjutan operasional, PT Dirgantara Indonesia menekankan pentingnya perencanaan kapasitas produksi yang efektif

untuk menghindari ketidakseimbangan antara penawaran dan permintaan serta mengoptimalkan sumber daya. Sebelumnya, PTDI sering mengalami keterlambatan dan *bottleneck* dalam proses produksi *aerostructure*.

Rough Cut Capacity Planning (RCCP) didefinisikan sebagai proses konversi dari rencana produksi dan/atau MPS kedalam kebutuhan kapasitas yang berkaitan dengan sumber daya kritis seperti: tenaga kerja, mesin dan peralatan, kapasitas gudang, kapasitas pemasok material, dan sumber daya keuangan (Pujawan dkk., 2015). Oleh karena itu, metode *Rough Cut Capacity Planning* (RCCP) diadopsi untuk perencanaan yang menyeluruh, mempertimbangkan kapasitas sumber daya manusia, mesin, dan bahan. Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi, menganalisis, dan mengoptimalkan perencanaan kapasitas produksi di PTDI, dengan harapan dapat meningkatkan efisiensi produksi, mengatasi ketidakseimbangan kapasitas, dan memperkuat posisi PTDI di pasar domestik dan global melalui inovasi dan keberlanjutan.

Penelitian ini memiliki beberapa tujuan yaitu: 1) Mengetahui kapasitas yang dimiliki perusahaan untuk memproduksi produk *aerostructure*, 2) Mengetahui keadaan kapasitas produksi perusahaan terhadap *load* dari Jadwal Induk Produksi, 3) Mengetahui strategi kebijakan perusahaan dalam melakukan perencanaan kapasitas untuk memenuhi target produksi. Dengan demikian, PTDI diharapkan dapat memastikan kelangsungan operasional yang handal, responsif dan efisien terhadap dinamika pasar dan kebutuhan pertahanan nasional.

2. Metode

Penelitian ini diawali dengan melaksanakan studi literatur yang bertujuan untuk memperluas pengetahuan dan pemahaman mengenai teori dasar yang akan digunakan dalam analisis. Studi literatur ini mencakup penelaahan berbagai sumber seperti buku, jurnal, dan artikel ilmiah yang relevan. Secara bersamaan, dilakukan pula studi lapangan yang melibatkan wawancara dengan pihak-pihak terkait serta observasi langsung di lokasi penelitian. Tujuan dari studi lapangan ini adalah untuk memperoleh gambaran yang akurat mengenai kondisi aktual dan dinamika yang terjadi pada objek penelitian. Pelaksanaan studi literatur dan studi lapangan secara bersamaan dilakukan karena keduanya saling melengkapi dan diperlukan sebagai landasan awal yang kuat untuk memulai dan mengarahkan penelitian ke arah yang tepat.

Kemudian, dilakukan perumusan masalah beserta penetapan asumsi dan batasan penelitian yang digunakan pada penelitian agar penelitian yang dihasilkan dapat diterima dengan keterbatasan yang ada. Adapun batasan penelitian pada penelitian ini adalah sebagai berikut: 1) Perhitungan kapasitas hanya dilakukan pada stasiun kerja yang digunakan pada produksi *aerostructure*, 2) Tahapan usulan penambahan kapasitas berdasarkan tahapan penambahan kapasitas yang terdapat pada divisi *production planning* PT Dirgantara Indonesia, 3) Penelitian ini tidak mempertimbangkan biaya dalam usulan penambahan kapasitas 4) Penelitian ini hanya memberikan usulan kebijakan yang perlu diambil perusahaan untuk melakukan perencanaan kapasitas produksi, dan belum ada penelitian lebih lanjut mengenai penerapannya. Sedangkan asumsi yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut: 1) Rantai produksi diasumsikan berada pada keadaan ideal, yaitu 1 operator mengoperasikan 1 mesin. 2) Semua kondisi fasilitas sesuai dengan keadaan aktual saat melakukan observasi di lapangan 3) Asumsi waktu operasional antara lain: 2 *shift*/hari kerja dan 240 hari kerja/tahun.

Setelah merumuskan masalah, tujuan, manfaat, batasan, dan asumsi, tahap pengumpulan data dimulai. Tahap pengumpulan data dilakukan dengan melakukan observasi ke rantai produksi untuk mengetahui keadaan fasilitas yang tersedia. Selain itu, penulis juga menelusuri data historis dan perencanaan produksi yang tersedia. Adapun data yang berhasil dikumpulkan diantaranya: data waktu kerja perusahaan, data jumlah hari kerja, data utilitas & jumlah mesin, data MBOM (*Master Bill of Material*), data *rate* produksi, data stok komponen & bahan baku,

dan data *routing*. Dengan mengombinasikan data dari observasi langsung, informasi historis, dan perencanaan, penulis mampu membentuk gambaran yang cukup akurat mengenai rantai produksi yang sedang diteliti.

Setelah tahap pengumpulan data, tahap selanjutnya adalah melakukan pengolahan data menggunakan metode *Rough Cut Capacity Planning* (RCCP). Menurut (Nasution, 2003) RCCP merupakan urutan kedua dari hierarki perencanaan prioritas-kapasitas yang berperan dalam mengembangkan MPS. RCCP melakukan validasi terhadap MPS yang juga menempati urutan kedua dalam hierarki perencanaan prioritas produksi. Guna menetapkan sumber-sumber spesifik tertentu khususnya yang diperkirakan akan menjadi hambatan potensial (*potential bottlenecks*) adalah cukup untuk melaksanakan MPS. Menurut (Sugiatna, 2021), *Rough Cut Capacity Planning* (RCCP), digunakan untuk perencanaan kapasitas jangka menengah-panjang biasanya 3-5 tahun, bertujuan untuk melakukan penyesuaian kapasitas, menambah mesin, alokasi *work force*. Menurut (Gaspersz, 2012), pada dasarnya terdapat empat langkah yang diperlukan untuk melaksanakan RCCP, yaitu 1) Memperoleh informasi tentang rencana produksi dari MPS 2) Memperoleh informasi tentang struktur produk dan waktu tunggu (*lead time*) 3) Menentukan *Bill of Resources*. 4) Menghitung kebutuhan sumber daya spesifik dan membuat laporan RCCP.

Menurut (Russel, 2000), dalam perencanaan kebutuhan kapasitas (RCCP) dapat dilakukan dengan tiga teknik *rough cut capacity planning*, yaitu 1) *Capacity Planning Using Overall Factor Approach* (CPOF) 2) *Bill of Labor Approach* (BOLA) 3) *Resource Profile Approach* (RPA). Pada penelitian ini teknik RCCP yang digunakan adalah *Capacity Planning Overall Factor Approach* (CPOF). CPOF sendiri adalah CPOF adalah Teknik yang menggunakan data masa lalu untuk menentukan presentasi jenis Produksi total dalam setiap stasiun kerja, Pendekatan ini membutuhkan tiga *input*, yaitu MPS, waktu total Produksi, dan utilisasi penggunaan sumber. CPOF mengalikan waktu total tiap *family* terhadap jumlah MPS untuk memperoleh total waktu yang diperlukan pabrik untuk mencapai MPS. Total waktu ini kemudian dibagi menjadi waktu penggunaan masing-masing sumber dengan mengalikan total waktu terhadap proporsi penggunaan sumber (Fogarty dkk, 1991). Mengacu pada Gaspersz, tahap pengolahan data pada penelitian ini meliputi perhitungan kapasitas fasilitas, perhitungan *rate* komponen, perhitungan *load work center*, perhitungan proyeksi utilisasi, dan perhitungan strategi penambahan kapasitas.

Perhitungan kapasitas fasilitas dilakukan pada masing-masing *work center* dalam satuan jam/tahun. Berikut merupakan persamaan yang digunakan untuk menghitung kapasitas.

$$C_{de} = Q_e \times U_{de} \times t_d \quad (1)$$

$$C_{ey} = C_{de} \times n_{dy} \quad (2)$$

Perhitungan *rate* komponen dilakukan untuk mendapatkan kebutuhan bersih tiap *part* untuk tiap tahun perencanaan. Berikut merupakan persamaan yang digunakan pada perhitungan ini.

$$GR_{xy} = Q_x \times R_y \quad (3)$$

$$NR_{xy} = GR_{xy} - S_{x(y-1)} \quad (4)$$

$$S_{xy} = \max(S_{x(y-1)} - GR_y, 0) \quad (5)$$

Selanjutnya, dilakukan perhitungan *load work center* dengan persamaan berikut:

$$L_{ey} = \sum_{o=1}^O \sum_{x=1}^X PT_{eo} + (T_{eo} \times \frac{NR_{xy}}{B_{eox}}) \quad (6)$$

Setelah didapat nilai *load* dan kapasitas tahunan untuk masing-masing *work center*, langkah selanjutnya adalah melakukan rekapitulasi nilai *load* berdasarkan grup teknologinya. Rekapitulasi ini penting untuk memahami bagaimana beban kerja (*load*) didistribusikan di antara berbagai kelompok teknologi dan untuk mengevaluasi apakah kapasitas yang tersedia mencukupi untuk menangani beban tersebut.

Dalam proses ini, nilai *load* untuk setiap *work center* dikumpulkan dan dianalisis dalam konteks kelompok teknologi yang relevan. Dengan cara ini, dapat diidentifikasi area-area yang mungkin menghadapi kelebihan beban (*overload*) atau di mana kapasitas yang tersedia tidak sepenuhnya digunakan (*underload*). Analisis ini membantu dalam mengoptimalkan distribusi beban kerja dan memastikan bahwa setiap *work center* beroperasi pada kapasitas yang optimal.

Untuk mengukur seberapa efisien sumber daya yang tersedia digunakan dalam menangani beban kerja, kita menggunakan persamaan untuk perhitungan utilisasi. Menurut (Tyler, 2003) utilisasi memberikan gambaran tentang tingkat pemanfaatan kapasitas yang tersedia dan dinyatakan dalam bentuk persentase. Berikut merupakan persamaan untuk perhitungan utilisasi:

$$U_{ey} = \frac{L_{ey}}{C_{ey}} \quad (7)$$

Tabel 1. Definsi Notasi

Notasi	Definisi
<i>d</i>	Indeks hari kerja (1, 2, ..., 5)
<i>e</i>	Indeks <i>work center</i> (1, 2, ..., 210)
<i>o</i>	Indeks operasi (1, 2, ..., 147078)
<i>x</i>	Indeks komponen (1, 2, ..., 13675)
<i>y</i>	Indeks tahun dalam perencanaan (1, 2, ..., 5)
<i>C_{de}</i>	Kapasitas <i>work center e</i> pada hari <i>d</i> (kapasitas harian)
<i>C_{ey}</i>	Kapasitas <i>work center e</i> pada tahun <i>y</i> (kapasitas tahunan)
<i>GR_{xy}</i>	Kebutuhan kotor komponen <i>x</i> pada tahun <i>y</i>
<i>L_{ey}</i>	<i>Load</i> di <i>work center e</i> pada tahun <i>y</i>
<i>n_{dy}</i>	Jumlah hari <i>d</i> pada tahun <i>y</i>
<i>NR_{xy}</i>	Kebutuhan bersih komponen <i>x</i> pada tahun <i>y</i>
<i>Q_e</i>	Kuantitas mesin/tenaga kerja pada <i>work center e</i>
<i>Q_x</i>	Kuantitas kebutuhan komponen <i>x</i> untuk 1 produk
<i>R_y</i>	<i>Rate</i> produksi pada tahun <i>y</i>
<i>S_{xy}</i>	Stok komponen <i>x</i> pada tahun <i>y</i>
<i>t_d</i>	Waktu kerja tersedia pada hari <i>d</i> (dalam jam)
<i>U_{de}</i>	Utilisasi historis <i>work center e</i> pada hari <i>d</i>

Setelah dilakukan perhitungan utilisasi dan dikategorikan sesuai dengan nilainya (Tabel 2). Langkah terakhir, dilakukan usulan strategi penambahan kapasitas untuk *work center overload* dan dilakukan perhitungan utilisasi setelah dilakukan strategi penambahan kapasitas.

Tabel 2. Kriteria Utilitas

Nilai Utilitas	Kriteria
≤40%	<i>Under Load</i> /Tidak Efektif
40% - 70%	Cukup Efektif
70% - 80%	Efektif
80% - 90%	Mendekati <i>Overload</i>
≥90%	<i>Overload</i>

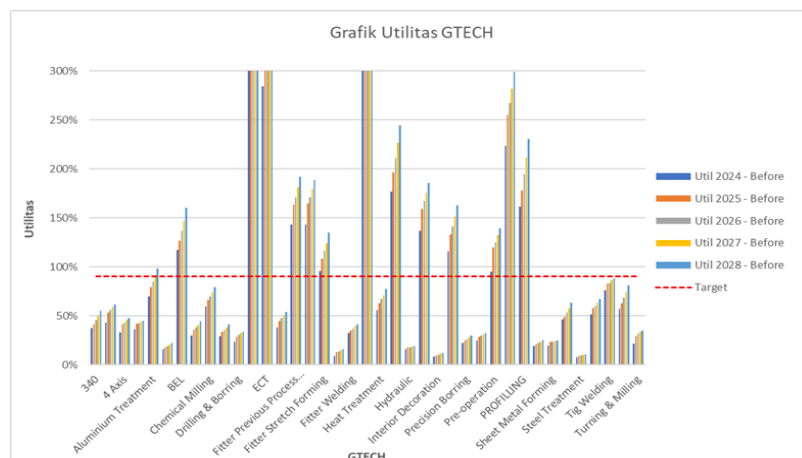
3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan, didapatkan hasil besar akumulasi kapasitas produksi yang berada di PTDI sendiri adalah 1.089.499,73 Jam (Tabel 3). Perbedaan pada nilai kapasitas tahunan dapat terjadi karena dipengaruhi faktor seperti jumlah mesin yang beroperasi dan utilitas dari mesin yang berbeda.

Tabel 3. Rekapitulasi Kapasitas Tahunan Berdasarkan GTECH

GTECH	Total Kapasitas (Jam)	GTECH	Total Kapasitas (Jam)
<i>Fitter Sheet Metal Forming</i>	48300,41	<i>Heat Treatment</i>	18658,95
<i>Fitter Stretch Forming</i>	22640,82	<i>HSM</i>	10067,90
<i>XEB</i>	42262,86	<i>Hydraulic</i>	22443,18
<i>340</i>	33868,00	<i>Inspection</i>	100796,01
<i>3 Axis</i>	36276,05	<i>Interior Decoration</i>	30195,71
<i>4 Axis</i>	20926,51	<i>Painting</i>	17392,03
<i>5 Axis</i>	7468,29	<i>Precision Boring</i>	17972,87
<i>Aluminium Treatment</i>	31713,68	<i>Pre-cutting</i>	46351,34
<i>Autoclave</i>	5740,23	<i>Pre-operation</i>	3672,20
<i>BEL</i>	34001,83	<i>Previous Process (Router)</i>	7404,36
<i>Bonding</i>	44751,33	<i>PROFILLING</i>	21559,63
<i>Chemical Milling</i>	27565,88	<i>Rubber Press</i>	7349,88
<i>Composite</i>	24845,36	<i>Sheet Metal Forming</i>	15004,26
<i>Gudang</i>	3018,78	<i>Spot Welding</i>	2920,92
<i>XME</i>	21131,43	<i>Steel Treatment</i>	49185,57
<i>Drilling & Boring</i>	18379,70	<i>Stretch Forming</i>	14559,81
<i>ECF</i>	31404,96	<i>Fitter Tube Bending</i>	3018,78
<i>ECT</i>	22708,95	<i>Tig Welding</i>	8901,24
<i>XSA</i>	21131,43	<i>Tooling</i>	41783,50
<i>XSE</i>	24150,20	<i>Fitter Welding</i>	4528,16
<i>Fitter Machining</i>	7546,94	<i>TPT</i>	13584,49
<i>Fitter Previous Process (Router)</i>	12075,10	<i>Tube Bending</i>	38982,89
<i>Turning & Milling</i>	51256,31		

Setelah nilai kapasitas setiap GTECH didapatkan, tahap selanjutnya adalah melakukan perhitungan nilai *load*. Kemudian, dilakukan perhitungan utilitas untuk menentukan kategori GTECH berdasarkan performa produksinya. Berikut merupakan grafik nilai utilitas setiap GTECH yang terdapat pada proses produksi *aerostructure*.



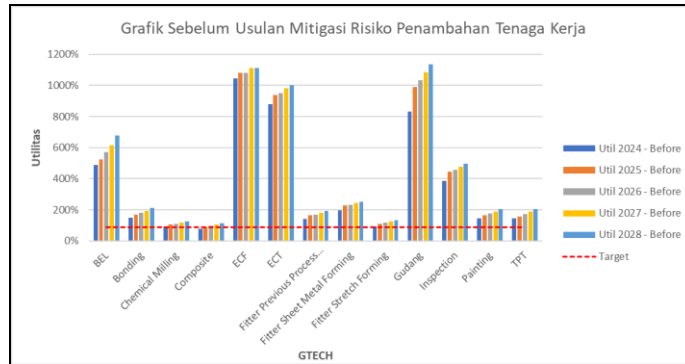
Gambar 1. Grafik Utilitas Berdasarkan Grup Teknologi

Grafik di atas memberikan pandangan sistematis tentang kinerja masing-masing grup teknologi, memungkinkan manajemen untuk dengan cepat mengidentifikasi area-area yang memerlukan perhatian lebih lanjut atau peningkatan. Batas nilai utilitas yang menandakan kondisi *overload* berada pada level 90%. Nilai 90% sendiri didapatkan dari ketetapan perusahaan, di mana 10% dari kapasitas produksi mencari kapasitas cadangan (*buffer capacity*) apabila terjadi hal-hal yang tidak diinginkan terjadi sehingga tidak mengganggu proses produksi. Untuk mengatasi situasi *overload*, usulan pertama yang diajukan adalah melakukan penambahan tenaga kerja. Penambahan tenaga kerja dilakukan pada *work center man*, yaitu *work center* yang kapasitasnya ditentukan oleh banyaknya tenaga kerja yang tersedia. Tabel 4 menjelaskan rencana penambahan tenaga kerja yang diusulkan.

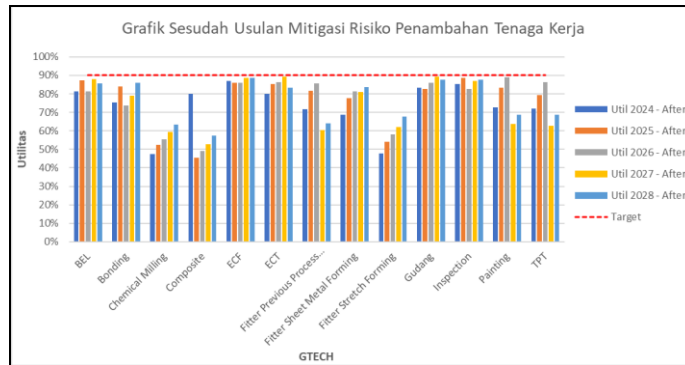
Tabel 4. Rencana Usulan Penambahan Kapasitas Melalui Penambahan Tenaga Kerja

GTECH	Deskripsi	2024	2025	2026	2027	2028
<i>Fitter Previous Process (Router)</i>	<i>FITTER FOR ROUTER</i>	1	0	0	1	0
<i>Fitter Sheet Metal Forming</i>	<i>FITTER FOR RUBBER PRESS</i>	1	0	0	1	0
<i>Fitter Sheet Metal Forming</i>	<i>FITTER FOR ECCENTRIC PRESS</i>	2	0	0	0	0
<i>Fitter Sheet Metal Forming</i>	<i>FITTER FOR HYDRAULIC PRESS</i>	1	0	0	0	0
<i>Fitter Stretch Forming</i>	<i>FITTER FOR STRETCH FORMING</i>	1	0	0	0	0
<i>Bonding</i>	<i>FITTER BONDING</i>	1	0	0	0	0
<i>Bonding</i>	<i>SETTING FOR BONDING</i>	1	0	1	0	0
<i>Composite</i>	<i>MANUAL CORE PREPARATION</i>	0	1	0	0	0
<i>Chemical Milling</i>	<i>MASKING</i>	1	0	0	0	0
<i>Painting</i>	<i>TOPCOAT PAINTING</i>	1	0	0	1	0
<i>Gudang</i>	<i>ISSUER INSPECTION</i>	0	0	0	0	1
<i>Gudang</i>	<i>MATERIAL INSPECTION</i>	9	2	0	1	0
<i>Inspection</i>	<i>SHEET METAL FORMING INSPECTION</i>	2	0	0	0	0
<i>Inspection</i>	<i>STRETCH FORMING INSPECTION</i>	0	0	1	0	0
<i>Inspection</i>	<i>HEAT TREATMENT INSPECTION</i>	2	0	1	0	0
<i>Inspection</i>	<i>HIGH SPEED INSPECTION</i>	1	0	0	0	0
<i>Inspection</i>	<i>BONDING INSPECTION</i>	0	1	0	0	0
<i>Inspection</i>	<i>ALUMINIUM TREATMENT INSP.</i>	3	0	0	0	0
<i>Inspection</i>	<i>PAINTING INSPECTION</i>	4	0	1	0	0
<i>Inspection</i>	<i>MARKING</i>	2	0	0	0	0
<i>Inspection</i>	<i>STEEL TREATMENT INSPECTION</i>	0	1	0	0	0
<i>Inspection</i>	<i>FINAL INSPECTION</i>	3	1	0	0	1
<i>TPT</i>	<i>INSPECTION PAINTING</i>	1	0	0	1	0
<i>BEL</i>	<i>DOOR POST ASSEMBLIES BELL</i>	5	0	1	0	1
<i>BEL</i>	<i>INSP. AND FINAL INSP. BELL TEXTRON</i>	2	0	0	0	0
<i>BEL</i>	<i>TAILBOOM BELL TEXTRON</i>	0	0	0	0	1
<i>BEL</i>	<i>MISCELLANEOUS SHEET METAL ASSEMBLY</i>	2	0	1	0	0
<i>ECT</i>	<i>TAIL BOOM ASSY</i>	1	0	0	0	1
<i>ECF</i>	<i>ASSEMBLY LOWER STRUCTURE</i>	1	0	0	0	0
<i>ECF</i>	<i>SUB ASSY FUSELAGE</i>	2	0	0	0	0
<i>ECF</i>	<i>ASSEMBLY UPPER STRUCTURE</i>	11	1	0	0	0
<i>ECT</i>	<i>INSPECTION AND FINAL INSPECTION MK II</i>	10	0	0	0	1
Total		71	7	6	5	6

Penambahan tenaga kerja pada tabel di atas bersifat kumulatif, yang berarti setiap pekerja yang telah ditambahkan pada tahun sebelumnya tidak dihitung kembali pada tahun berikutnya. Dengan adanya penambahan tenaga kerja seperti tabel di atas, berikut merupakan perbandingan utilitas GTECH tenaga kerja sebelum dan sesudah dilakukan penambahan kapasitas.



Gambar 2. Grafik Utilitas Sebelum Penambahan Kapasitas Work Center Tenaga kerja



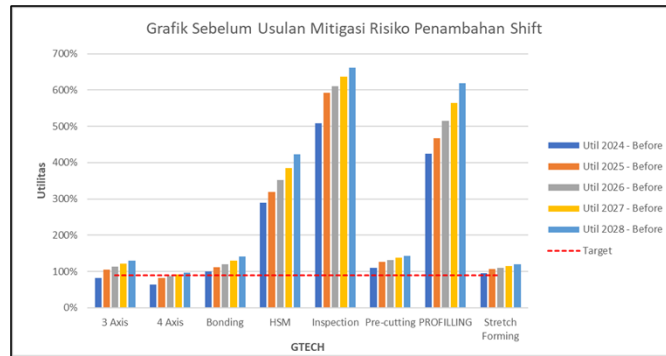
Gambar 3. Grafik Utilitas Sesudah Penambahan Kapasitas Work Center Tenaga kerja

Setelah itu, diajukan beberapa usulan untuk *work center machine*, yaitu *work center* yang kapasitasnya dipengaruhi oleh banyaknya mesin yang beroperasi. Usulan-usulan yang diajukan diantaranya: penambahan *shift*, perbaikan mesin, pembelian mesin, redistribusi *load*, dan *overtime*. Tabel 5 menjelaskan usulan rencana penambahan *shift* kerja.

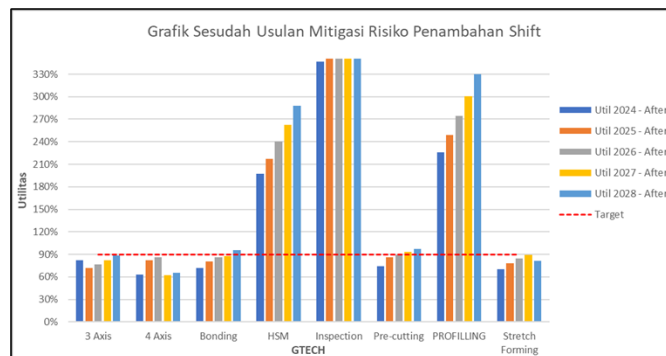
Tabel 5. Rencana Usulan Penambahan Kapasitas Melalui Penambahan Shift Kerja

GTECH	Deskripsi	2024	2025	2026	2027	2028
Pre-cutting	GUILLOTINE CUTTER					
Stretch Forming	ROLLING MACHINE "HAEUSLER"					
Stretch Forming	STRETCH FORMING SHEET CYRIL BATH					
HSM	CNC PROFILING MACHINE SGMP					
HSM	CNC PROFILING MACHINE JOBS					
HSM	CNC PROFILING MACH DECKEL MAHO DMC210U					
PROFILLING	CNC PROFILING MACHINE DGAL					
3 Axis	CNC VERTICAL MACH. CENTER QUASER MV 184					
4 Axis	CNC HORIZONTAL MACH. CENTER HAAS EC-500					
Bonding	PHOSPHORIC ACID ANODIZING					
Bonding	LAY UP BONDING					
Inspection	CMM INSPECTION					
Inspection	HARDNESS AND CONDUCT INSP.					
Inspection	PENETRAN INSPECTION					
Inspection	ULTRA SONIC INSPECTION					
Total		9	10	10	12	15

Dengan adanya penambahan *shift* kerja seperti tabel di atas, berikut merupakan perbandingan utilitas GTECH tenaga kerja sebelum dan sesudah dilakukan penambahan kapasitas.



Gambar 4. Grafik Sebelum Usulan Penambahan Kapasitas Penambahan *Shift Work Center* Mesin



Gambar 5. Grafik Sesudah Usulan Penambahan Kapasitas Penambahan *Shift Work Center* Mesin

Tahap selanjutnya adalah melakukan perbaikan mesin dan menambah kuantitas mesin, karena dengan menambah perbaikan mesin dan menambah kuantitas mesin dapat menaikkan total kapasitas di suatu *work center*. Berikut merupakan perhitungan perbaikan mesin (Tabel 7) dan menambah kuantitas mesin (Tabel 8) di setiap *work center* mesin.

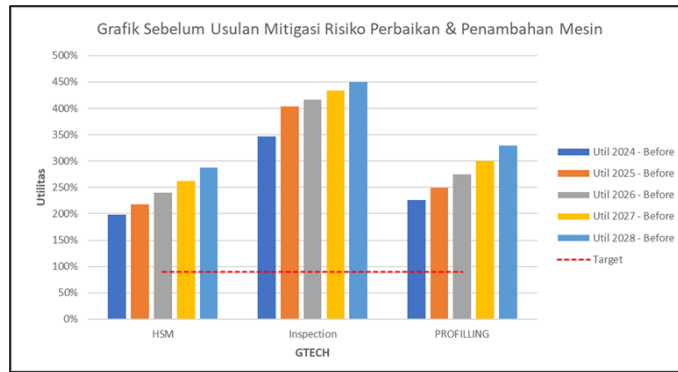
Tabel 6. Rencana Usulan Penambahan Kapasitas Melalui Perbaikan Mesin

GTECH	Deskripsi	Mesin Aktual	Mesin Tersedia	Rencana Perbaikan Mesin				
				2024	2025	2026	2027	2028
<i>HSM</i>	<i>CNC PROFILING MACH DECKEL MAHO DMC210U</i>	1	6	1	0	0	0	0
<i>PROFILLING</i>	<i>CNC PROFILING MACHINE DGAL</i>	2	8	4	0	1	0	1
Total				5	0	1	0	1

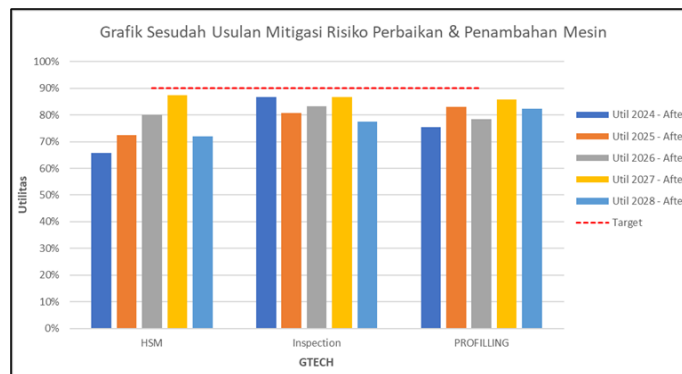
Tabel 7. Rencana Usulan Penambahan Kapasitas Melalui Pembelian Mesin

GTECH	Deskripsi	Rencana Pembelian Mesin				
		2024	2025	2026	2027	2028
<i>HSM</i>	<i>CNC PROFILING MACHINE JOBS</i>	2	0	0	0	1
<i>Inspection</i>	<i>HARDNESS AND CONDUCT INSP.</i>	3	1	0	0	1
<i>Inspection</i>	<i>PENETRAN INSPECTION</i>	1	0	0	0	0
Total		6	1	0	0	2

Dengan adanya penambahan perbaikan mesin dan menambah kuantitas mesin seperti tabel di atas, berikut merupakan perbandingan utilitas GTECH tenaga kerja sebelum dan sesudah dilakukan penambahan kapasitas.



Gambar 6. Grafik Sebelum Usulan Penambahan Kapasitas Perbaikan & Penambahan Mesin *Work Center* Mesin



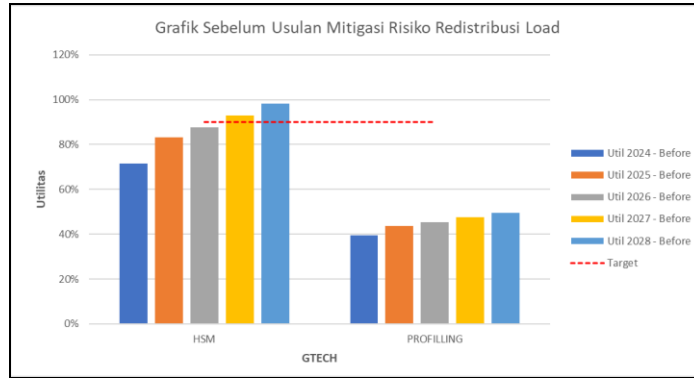
Gambar 7. Grafik Sesudah Usulan Penambahan Kapasitas Perbaikan & Penambahan Mesin *Work Center* Mesin

Tahap selanjutnya adalah melakukan redistribusi *load* ke tipe mesin sejenis, karena dengan melakukan redistribusi *load* dapat mengurangi beban di suatu *work center* yang mengalami *overload*. Berikut merupakan perhitungan redistribusi *load* dua *work center* yang memiliki tipe sejenis, yakni mesin CNC *profiling machine* SGMP dan CNC *profiling machine* DGMP.

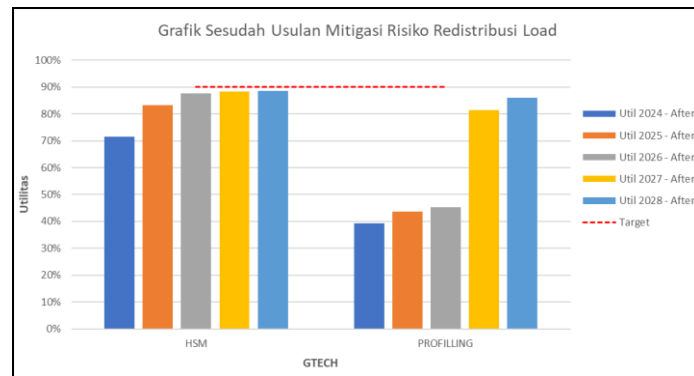
Tabel 8. Rencana Usulan Penambahan Kapasitas Melalui Redistribusi *Load*

GTECH	Deskripsi	<i>Load</i> Sebelum				
		2024	2025	2026	2027	2028
<i>HSM</i>	<i>CNC PROFILING MACHINE SGMP</i>	2660,3	3092,7	3253,3	3456,7	3653,3
<i>PROFILLING</i>	<i>CNC PROFILING MACHINE DGMP</i>	3623,9	4010,9	4161,1	4386,0	4559,6
GTECH	Deskripsi	<i>Load</i> Sesudah				
		2024	2025	2026	2027	2028
<i>HSM</i>	<i>CNC PROFILING MACHINE SGMP</i>	2660,3	3092,7	3253,3	3283,9	3288,0
<i>PROFILLING</i>	<i>CNC PROFILING MACHINE DGMP</i>	3623,9	4010,9	4161,1	4558,9	4925,0

Berdasarkan tabel di atas, terjadi redistribusi *load* di mesin CNC *profiling machine* SGMP sebesar 5% pada tahun 2027 dan sebesar 10% pada tahun 2028 ke mesin CNC *profiling machine* DGMP. Sehingga terjadi perubahan utilitas dari kedua *work center* tersebut.



Gambar 8. Grafik Sebelum Usulan Penambahan Kapasitas Redistribusi *Load Work Center* Mesin



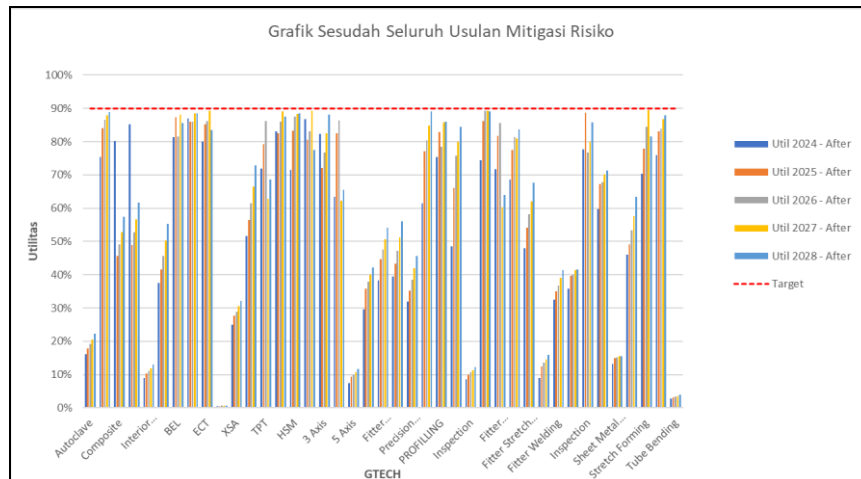
Gambar 9. Grafik Sesudah Usulan Penambahan Kapasitas Redistribusi *Load Work Center* Mesin

Tahap selanjutnya adalah melakukan perhitungan lembur (*overtime*) terhadap *work center* yang masih memiliki utilitas di atas 90%. *Overtime* sendiri berarti menggunakan hari non operasional sebagai solusi untuk meningkatkan kapasitas produksi. Berikut merupakan perhitungan *overtime* di *work center* yang masih mengalami *overload*.

Tabel 9. Rencana Usulan Penambahan Kapasitas Melalui Penambahan *Overtime*

GTECH	Deskripsi	No. <i>Overtime</i>					Total
		2024	2025	2026	2027	2028	
<i>Pre-cutting</i>	<i>GUILLOTINE CUTTER</i>	0	0	0	30	52	82
<i>Bonding</i>	<i>LAY UP BONDING</i>	0	0	0	0	52	52
Total		0	0	0	30	104	134

Setelah dilakukan penambahan kapasitas sedemikian rupa menggunakan berbagai usulan, berikut merupakan rekapitulasi penambahan kapasitas yang telah dilakukan pengelompokan *work center* berdasarkan grup teknologinya.



Gambar 12. Grafik Sesudah Seluruh Usulan Penambahan Kapasitas

Setelah dilakukan perhitungan ulang, dapat dilihat bahwa seluruh *work center* tidak dalam keadaan *overload*. Namun, beberapa *work center* diproyeksikan mengalami *underload* ($U < 40\%$). Untuk *work center-work center* ini, perusahaan diusulkan untuk dapat menambah beban kerja dengan menggunakan kapasitas tersisa untuk produksi produk lain.

4. Simpulan

Kapasitas yang dimiliki perusahaan untuk memproduksi produk *aerostructure* adalah 1.089.499,73 jam. Angka ini merupakan akumulasi dari seluruh kapasitas *work center* yang digunakan pada proses produksi *aerostructure*.

Load yang akan diterima oleh perusahaan dapat dibilang terlalu besar. Penerapan metode RCCP untuk validasi rencana produksi *aerostructure* pada PTDI menunjukkan bahwa perusahaan diperkirakan tidak mampu memenuhi target yang telah ditetapkan. Hal ini ditunjukkan dari adanya beberapa GTECH yang diproyeksikan akan mengalami *overload*. Berkaitan dengan hal tersebut, diusulkanlah beberapa rencana penambahan kapasitas. Rencana ini diajukan untuk menambah kapasitas sehingga perusahaan dapat menyelesaikan target produksi yang telah ditetapkan sebelumnya.

Usulan strategi kebijakan penambahan kapasitas terdiri atas enam kebijakan, yakni penambahan *shift*, penambahan tenaga kerja, memperbaiki mesin, penambahan mesin, redistribusi *load*, dan *overtime*. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan, menjalankan usulan yang direncanakan dapat mengatasi permasalahan *overload* yang diproyeksikan akan terjadi.

Perlu diperhatikan bahwa penelitian ini memiliki keterbatasan waktu sehingga diperlukan penelitian lanjutan guna meninjau akurasi perhitungan yang dilakukan. Selain itu, saran-saran yang diberikan juga perlu dikaji lebih lanjut terutama pada aspek yang belum dibahas pada penelitian ini. Di samping segala keterbatasan yang dihadapi selama penelitian, perusahaan diharapkan dapat mempertimbangkan usulan-usulan yang diajukan.

Daftar Pustaka

- Anggriani, N., Lesmana, E., Supriatna, A., Husniah, H., & Yudha, M. (2015). Analisis Dinamik pada Model Pengendalian Persediaan Dua Produk Berbeda dengan Kapasitas Produksi Terbatas Serta Inisiatif Tim Sales Bersama. *Jurnal Teknik Industri*, 17(1), 17-26.
- Fogarty, D. W., Balckstone, J. H. & Hoffman, T. R. (1991). *Production & Inventory Management*. s,l: South-Western Publishing Company.
- Gaspersz, V. (1998). *Production Planning and Inventory Control*. Jakarta: Gramedia.

- Gaspersz, V. (2012). *All In One: Production and Inventori Management*. Edisi 8, Bogor.
- Nasution, Arman Hakim. (2003). *Perencanaan dan Pengendalian Produksi*. Jakarta: Ghalia Indonesia.
- Pujawan, N., Arief, M. M., Tjahjono, B., & Kritchanchai, D. (2015). *An integrated shipment planning and storage capacity decision under uncertainty: A simulation study*. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 45(9/10), 913-937.
- Russel, R. S. & Taylor, B. W. (2000). *Operation Management*. s.l:Prentice Hall.
- Sinulingga, M. R. P. (2021). *Perencanaan Kapasitas Produksi Produk CPO (crude palm oil) dengan Menggunakan Metode Capacity Requirement Planning (CRP) di PT. Ukindo Blankahan Oil Mill* (Doctoral dissertation, Universitas Medan Area).
- Sugiatna, A. (2021). Analisis perencanaan kapasitas produksi dengan menggunakan metoda rought cut capacity planning pendekatan CPOF di PT. XYZ. *Sistemik: Jurnal Ilmiah Nasional Bidang Ilmu Teknik*, 9(2), 28-32.
- Tyler, D. C., Pasquariello, C. A., & Chen, C. H. (2003). *Determining optimum operating room utilization*. *Anesthesia & Analgesia*, 96(4), 1114-1121.

Analisis Perilaku Belanja dan Pengelompokan Pelanggan di Toko Ritel ABC Menggunakan Metode *Clustering*

^{1,2,3,4,5)}Fajra Aqila Adesti, Sastyaviani Irami P, Ar Royyan Utama T, Nisrina Faiza Mufid,
dan Samaya Dhiya Salindri

^{1,2,3,4,5)}Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia, Sleman, Yogyakarta,
55584, Indonesia.

Email: 22522226@students.uii.ac.id, 21522203@students.uii.ac.id, 21522312@students.uii.ac.id,
21522290@students.uii.ac.id, 22522107@students.uii.ac.id

ABSTRAK

Ritel ABC merupakan salah satu ritel sepatu di Indonesia yang menyediakan perlengkapan olahraga dan gaya hidup, dengan lebih dari 500 cabang yang tersebar di seluruh negeri. Penelitian ini menggunakan metode Analisis *Cluster* untuk mengidentifikasi segmen pelanggan dan mengembangkan strategi pemasaran yang optimal. Penelitian ini mengungkapkan bahwa faktor-faktor seperti usia, jenis kelamin, pekerjaan, pendapatan, dan preferensi konsumen memengaruhi keputusan pembelian di ABC. Analisis *Cluster* digunakan untuk mengelompokkan konsumen berdasarkan karakteristik yang dimiliki, menghasilkan lima *cluster* dengan tingkat potensi yang berbeda untuk strategi pemasaran. *Cluster* 1 diidentifikasi sebagai *cluster* terbaik dengan komponen usia, jenis kelamin, pekerjaan, pendapatan, dan niat beli konsumen di atas rata-rata, meskipun kepuasan konsumen berada di bawah rata-rata. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemahaman mendalam terhadap karakteristik dan preferensi masing-masing segmen dapat membantu toko ritel merancang strategi pemasaran yang lebih efektif, meningkatkan manajemen persediaan, dan memperbaiki pelayanan pelanggan.

Kata kunci: *Cluster*, *K-Means*, Perilaku Konsumen, Ritel,

1. Pendahuluan

Saat ini, sektor ritel di Indonesia sedang mengalami perkembangan pesat. Hal ini terlihat dari kemunculan berbagai pasar modern yang mulai menggantikan pasar tradisional. Pusat Berkembangnya persaingan dalam bisnis ritel telah mendorong perusahaan-perusahaan untuk mencari cara yang lebih cepat dan efektif untuk menarik pelanggan dan mendorong pembelian. Perusahaan-perusahaan terus berupaya menggunakan berbagai metode dan strategi untuk memengaruhi keputusan pembelian konsumen. Keputusan pembelian ini menjadi sangat krusial karena persaingan semakin sengit dalam era pasar modern saat ini, dengan banyak perusahaan menawarkan beragam produk dan layanan kepada masyarakat. Seiring dengan peningkatan pilihan yang tersedia, masyarakat juga semakin banyak melakukan pertimbangan sebelum membuat keputusan pembelian. Kegagalan perusahaan dalam bersaing untuk memengaruhi keputusan pembelian konsumen dapat berdampak besar, termasuk penurunan penjualan hingga risiko kebangkrutan (Hidayatullah, 2020)

Saingan yang sengit dalam dunia bisnis menyebabkan pasar menjadi dibanjiri dengan produk yang hampir serupa, tetapi dengan harga yang lebih terjangkau. Situasi ini tentunya menarik bagi konsumen karena mereka memiliki lebih banyak pilihan dan produk yang lebih terjangkau. Keberagaman pilihan dan kemampuan finansial konsumen yang meningkat telah menyebabkan pembelian dan konsumsi produk kadang-kadang didasarkan pada keinginan semata, bukan hanya kebutuhan. Bahkan terkadang, meskipun daya beli seorang konsumen mungkin tidak begitu kuat, berbagai fasilitas pembayaran seperti pembelian kredit memberikan fleksibilitas tambahan, memungkinkan terpenuhinya keinginan konsumen yang tidak didasari oleh kebutuhan (S & Cahyo, 2017)

Perilaku konsumen merujuk pada tindakan di mana individu memilih, membeli, dan memanfaatkan produk atau layanan dengan tujuan memenuhi kebutuhan atau keinginan mereka. Saat seorang konsumen melakukan keputusan pembelian ke *sport station*, berbagai faktor memengaruhi keputusan mereka. Faktor-faktor ini mencakup aspek budaya, aspek sosial, aspek pribadi, dan aspek psikologis. Setelah memahami faktor-faktor tersebut, seorang konsumen perlu mempertimbangkan semua aspek ini sebelum membuat keputusan berbelanja (Mauludin, Saputra, Sari, Munawaroh, & Regita, 2022).

Oleh karena itu peneliti melakukan penelitian di ritel sepatu ABC. Karena peneliti merasa ritel ini merupakan salah satu ritel yang paling potensial, dengan berbagai macam sepatu dari berbagai merek, selain itu, ritel ini adalah ritel yang paling terkenal dan paling banyak konsumen dari berbagai macam kalangan. Dan hal ini sesuai dengan objek dan subjek yang akan diteliti oleh peneliti dengan menggunakan analisis *cluster*.

Analisis *Cluster* adalah metode multivariat yang bertujuan untuk mengelompokkan objek-objek berdasarkan karakteristik yang dimiliki oleh masing-masing objek. Dalam analisis ini, objek-objek dikelompokkan sedemikian rupa sehingga objek yang memiliki kesamaan karakteristik paling tinggi akan berada dalam kelompok yang sama. Kelompok-kelompok yang terbentuk memiliki tingkat kesamaan yang tinggi di dalam kelompoknya dan perbedaan yang tinggi antar kelompok. Berbeda dengan metode multivariat lainnya, analisis ini tidak menggunakan estimasi empiris untuk variabel-variabel, melainkan variabel-variabel yang digunakan ditentukan oleh peneliti sendiri. Fokus utama dari Analisis *Cluster* adalah membandingkan objek-objek berdasarkan sekumpulan variabel yang digunakan sebagai dasar analisis. Oleh karena itu, para ahli menganggap penggunaan variabel tersebut sebagai langkah kritis dalam proses Analisis *Cluster*. Variabel-variabel yang digunakan dalam analisis *cluster* adalah sekumpulan variabel yang mencerminkan karakteristik objek-objek tersebut.

Solusi dalam Analisis *Cluster* tidak bersifat unik, karena anggota-anggota dalam kelompok *cluster* tergantung pada beberapa elemen dalam prosedur analisis. Sebagai hasilnya, berbagai solusi yang berbeda dapat diperoleh dengan mengubah satu atau lebih elemen dalam analisis. Keseluruhan solusi dalam analisis *cluster* juga sangat tergantung pada variabel-variabel yang digunakan untuk menentukan tingkat kesamaan antara objek-objek. Penambahan atau pengurangan variabel yang relevan dapat mempengaruhi hasil analisis *cluster* secara substansial (Ediyanto, Mara, & Satyahadewi, 2013).

Analisis *cluster* sendiri dibagi menjadi dua, yakni metode hierarki dan metode non-hierarki atau yang lebih dikenal sebagai *K-Means*. *K-Means* adalah algoritma *unsupervised learning* yang digunakan untuk mengelompokkan data ke dalam *cluster*. Algoritma ini dapat beroperasi tanpa memerlukan label kategori pada data yang dimasukkan. *K-Means Clustering* adalah metode non-hierarki yang bertujuan mengelompokkan data ke dalam kelompok-kelompok dengan karakteristik serupa, yang berbeda dari kelompok lain. Dalam pengambilan sampel menggunakan *Cluster Sampling*, unit-unit populasi dipilih secara acak dari kelompok yang sudah ada, yang disebut *cluster*. *Clusterisasi* atau *clustering* pada dasarnya merupakan salah satu masalah yang menggunakan teknik *unsupervised learning* (Sandova, Kurniawan, & Supratati, 2024).

Dalam penelitian Segmentasi Pelanggan Menggunakan Metode *K-Means Clustering* Berdasarkan Model RFM (Recency, Frequency, Monetary), metode *clustering K-Means* digunakan untuk analisis ini. Dengan menggunakan metode *Elbow* dan nilai koefisien *Silhouette*, ditentukan bahwa nilai $K=2$ adalah yang paling optimal untuk *clustering*, menghasilkan dua segmen pelanggan dengan karakteristik berbeda. Segmen pelanggan ini merupakan kelanjutan dari model RFM, yang didasarkan pada rentang waktu terakhir transaksi,

frekuensi transaksi, dan jumlah uang yang dikeluarkan untuk transaksi. Dari 4226 pelanggan yang disegmentasi, 3591 pelanggan dikategorikan sebagai *Potential Customers*, sementara 635 pelanggan dikategorikan sebagai *Non-Potential Customers*. *Potential Customers* menunjukkan karakteristik sering melakukan pembelian dengan jumlah pengeluaran yang tinggi dalam transaksi (Anshary, Soesanto, & Ayatullah, 2022).

Dalam penelitian Analisis Perilaku Konsumen pada Usaha Ritel dengan menggunakan Metode *Association Rule - Market Basket Analysis* dan *Clustering* sebagai Usulan Strategi Peningkatan Penjualan (Studi Kasus: Intimart Gedongan), Berdasarkan grafik *elbow method* dan *silhouette score*, diperoleh jumlah *cluster* sebanyak empat untuk mengelompokkan data transaksi pelanggan. Analisis hasil *clustering* menggunakan algoritma *K-Means* menunjukkan proporsi *cluster* 1 sebanyak 40.4% dengan 12.825 transaksi, *cluster* 2 sebesar 13.2% dengan 4.191 transaksi, *cluster* 3 sebesar 44.7% dengan 14.172 transaksi, dan *cluster* 4 sebesar 1.7% dengan 547 transaksi. *Cluster* 1, atau "*Mid-Morning Moderates*," terdiri dari pelanggan yang bertransaksi antara pukul 8 pagi hingga 12 siang, biasanya membeli produk yang sama atau dengan sedikit variasi, dengan nilai transaksi rata-rata Rp. 19.866,- dan rentang total transaksi antara Rp. 8.925,- hingga Rp. 26.540,-. *Cluster* 2, atau "*Diverse Afternoon Buyers*," terdiri dari pelanggan yang bertransaksi antara pukul 1 siang hingga 7 malam, biasanya membeli berbagai variasi produk dengan nilai transaksi rata-rata Rp. 49.271,- dan rentang total transaksi antara Rp. 31.000,- hingga Rp. 63.434,-. *Cluster* ini mencerminkan pelanggan yang aktif dan beragam dalam pembelian produk, menjadi target strategis untuk promosi produk bervariasi dan peningkatan nilai transaksi. *Cluster* 3, atau "*Evening Moderates*," terdiri dari pelanggan yang bertransaksi antara pukul 5 sore hingga 8 malam, biasanya membeli produk dengan sedikit variasi, dengan nilai transaksi rata-rata Rp. 19.591,- dan rentang total transaksi antara Rp. 9.500,- hingga Rp. 26.400,-. *Cluster* ini memiliki kemiripan dengan *cluster* 1. *Cluster* 4, atau "*High-Value Customers*," terdiri dari pelanggan yang bertransaksi antara pukul 10 pagi hingga 6 sore, biasanya membeli berbagai variasi produk dengan nilai transaksi rata-rata Rp. 177.475,- dan rentang total transaksi antara Rp. 128.050,- hingga Rp. 209.883,-. *Cluster* ini merupakan kelompok pelanggan yang sangat berharga karena kontribusinya yang signifikan pada pendapatan toko (Baihaqie, 2023).

Dalam penelitian Pengelompokan Data Transaksi Dalam Menentukan Strategi Penjualan Menggunakan Algoritma *K-Means* Hasil pengujian data menggunakan *tools* RapidMiner pada klasterisasi data penjualan di Toko Ritel *Accessories* dengan algoritma *K-Means Clustering* menunjukkan bahwa nilai Davies-Bouldin Index (DBI) dari $k=2$ hingga $k=10$ terdapat pada tabel sebelumnya. Berdasarkan hasil tersebut, *cluster* dengan nilai terkecil adalah $k=5$, dengan DBI sebesar 0,286. Karena nilai DBI untuk $k=5$ adalah yang paling rendah dibandingkan dengan nilai k lainnya, dapat disimpulkan bahwa $k=5$ dengan nilai 0,286 adalah hasil *cluster* terbaik. Beberapa saran untuk peneliti lain yang ingin melakukan penelitian serupa berdasarkan pengalaman pribadi selama penelitian ini adalah pentingnya pemahaman yang baik terhadap data yang akan diolah dan algoritma yang digunakan. Penelitian ini diharapkan dapat membantu pihak toko dalam mengambil keputusan untuk menentukan strategi penjualan (Asih, Irawan, & Bahtiar, 2024).

Dalam penelitian Klasterisasi Stok Produk Retail Untuk Menentukan Pergerakan Kebutuhan Konsumen Dengan Algoritma *K-Means* yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penelitian ini memanfaatkan data produk retail dengan beberapa atribut, seperti Data Kebutuhan Awal dan Data Kebutuhan Akhir. Dengan pendekatan metode klasterisasi, data yang ada dapat digunakan untuk menganalisis pengelompokan produk terkait ketersediaan dan persediaan barang di gudang, sehingga memberikan wawasan dan informasi berharga. Proses

pengolahan data produk retail menggunakan algoritma *K-Means* meliputi tahap seleksi data (atribut yang digunakan), pengujian algoritma (*K-Means*), dan validasi (menggunakan *k-fold cross-validation*). Hasil dari penerapan algoritma *K-Means* menunjukkan pengelompokan produk ke dalam tiga *cluster*: *Cluster 1*, yang mencakup produk dengan ketersediaan rendah (*Low*) dengan 939 dari 1000 kategori produk yang diuji; *Cluster 2*, yang mencakup produk dengan ketersediaan sedang (*Medium*) dengan 51 dari 1000 kategori; dan *Cluster 3*, yang mencakup produk dengan ketersediaan tinggi (*High*) dengan 10 dari 100 kategori produk yang diuji. Pengujian menggunakan *tools* RapidMiner menghasilkan wawasan serupa, dengan *Cluster 0* memiliki 51 anggota klaster yang mewakili kategori *Medium*, *Cluster 1* memiliki 939 anggota mewakili kategori *Low*, dan *Cluster 2* memiliki 10 anggota yang sesuai dengan kategori *High* (Suwaryo, Rahman, Atmaja, & Basri, 2023).

Dalam penelitian *clustering* data penjualan produk makanan pada Toko Toserba Yogya Siliwangi menggunakan metode *K-Means* dilakukan dengan data penjualan kategori snack pada bulan Desember 2021, yang terdiri dari 470 data. Dengan menggunakan metode pengelompokan *K-Means* melalui aplikasi RapidMiner, diperoleh hasil bahwa data terbagi menjadi tiga *cluster*: *Cluster 1* dengan 3 item, *Cluster 2* dengan 13 item, dan *Cluster 0* dengan 454 item. Selain itu, hasil *running* dari *Davies-Bouldin Index* adalah 0,487, yang mendekati nilai 1 (Noviati, Mulyawan, Kurnia, & Rinaldi, 2022).

Dalam penelitian implementasi Metode *K-Means Clustering* Untuk Pengelompokan Data Stok Produk Toko Online Perdagangan Kaos, dari hasil pembahasan mengenai klasifikasi produk menggunakan *data mining* di toko khusus *T-shirt* dengan metode *K-Means*, kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut: diperlukan sistem *data mining* berbasis *K-Means* untuk mengatasi masalah klasifikasi produk di industri kaos. Penelitian ini merekomendasikan pengembangan sistem klasifikasi pola penjualan produk di toko dan menyarankan pembuatan aplikasi untuk mendukung transaksi jual beli kaos. Meskipun penelitian ini memberikan wawasan berharga, masih ada kekurangan yang perlu diperbaiki untuk meningkatkan kinerja sistem. Kriteria penelitian yang ada belum sepenuhnya memenuhi kebutuhan sistem kategorisasi persediaan menggunakan *K-Means clustering*. Penetapan *centroid* awal dapat menghasilkan *centroid* yang berbeda, sehingga disarankan untuk meningkatkan akurasi proses *clustering*. Untuk hasil yang lebih akurat, penelitian selanjutnya dapat membandingkan algoritma *K-Means* dengan algoritma lain atau mengembangkan metode *clustering K-Means* yang lebih efektif (Wahyudi & Wibowo, 2022).

Dalam penelitian Penerapan *Data Mining* Dalam Pengelompokan Bahan Sembako Laris Menggunakan *K-Means Clustering* (Studi Kasus: Toko Gunung Bumi) Berdasarkan hasil pemodelan menggunakan algoritma *K-Means Clustering* dan data yang telah diolah dengan *Knowledge Discovery in Database (KDD)*, diperoleh dua kategori penjualan sembako: "tidak laris" dan "laris." Penentuan nilai *centroid* dilakukan secara acak dengan menggunakan rumus *Euclidean Distance*. Proses ini menghasilkan dua iterasi dengan nilai rata-rata sebagai berikut: C0 dengan rata-rata 397.950 dan 349.400, serta C1 dengan rata-rata 1.248.300 dan 1.272.700. Hasilnya menunjukkan bahwa C0 mencakup 20 barang yang tidak laris dan C1 mencakup 10 barang yang laris. Evaluasi dari *cluster* yang dibentuk menunjukkan dua *cluster* dengan nilai 0,605. Dengan demikian, penelitian ini sangat relevan untuk digunakan dalam penyetokan barang guna meningkatkan penjualan di Toko Gunung Bumi. (Permana & Sanjaya, 2023).

2. Metode

Pada penelitian kali ini peneliti mengumpulkan data dengan melakukan observasi secara langsung terhadap variabel yang sudah ditentukan, setelah dihasilkan rumusan masalah studi

kasus, langkah selanjutnya peneliti mulai mengumpulkan informasi, menyusun kuesioner untuk disebarkan kepada responden dari berbagai kalangan usia, latar belakang, minat dan gaya hidup yang berjumlah 50 orang. Selanjutnya data direkap menggunakan excel untuk melakukan transformasi data sebelum diolah di SPSS menggunakan metode *cluster*, metode ini merupakan metode multivariat yang bertujuan untuk mengelompokkan objek-objek berdasarkan karakteristik yang dimiliki oleh masing-masing objek (Ediyanto et al., 2013). Metode *cluster* ini sendiri dipecah lagi menjadi dua, yakni hierarki dan non hierarki (*K-Means*). *K-Means* adalah algoritma yang digunakan untuk pengelompokan secara partisi. Setiap kelompok dipisahkan datanya ke dalam kelompok yang berbeda-beda. Dalam *K-Means*, diterapkan metode data *clustering* non-hierarki. Metode ini melakukan partisi data ke dalam satu atau lebih *cluster*/kelompok (Virgo, Defit, & Yunus, 2020). Setelah diolah, hasil didapatkan berupa dendogram yang digunakan untuk menentukan seberapa banyak *cluster* terbentuk.

Proses *knowledge discovery in database* (KDD) mengandung beberapa proses. Gambar 1 menunjukkan bagaimana sebuah metode KDD dijalankan secara urut mulai dari pemilihan data, melakukan *pre-processing* pada data tersebut agar kemudian dapat digunakan, melakukan transformasi, kemudian penambangan data, evaluasi, dan pada akhirnya dapat diperoleh informasi berupa kesimpulan terhadap suatu populasi data. Rangkaian proses ini dilakukan sebagai bagian dari penelitian yang dilakukan.



Gambar 1. Proses KDD

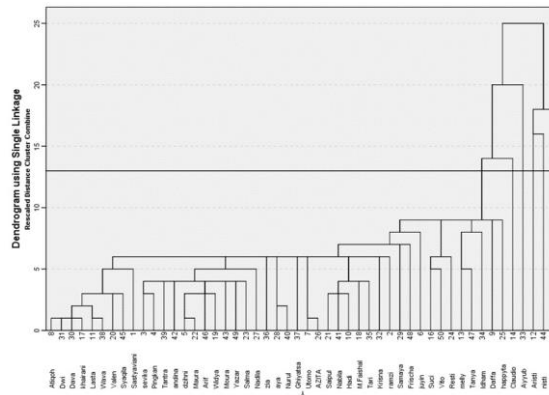
- a. *Selection*: Menyaring data mentah untuk menentukan variabel data yang akan diproses.
- b. *Preprocessing*: Tahap ini melibatkan pembersihan data dari *noise*, nilai yang hilang, dan data yang tidak relevan.
- c. *Transformation*: Mengubah data ke dalam format yang sesuai untuk pengolahan oleh algoritma *data mining* yang akan digunakan, karena setiap algoritma membutuhkan format data tertentu.
- d. *Data mining*: Merupakan tahap inti dari KDD (*Knowledge Discovery in Databases*), yaitu mengekstrak pengetahuan dari data menggunakan berbagai metode dan algoritma. Metode *data mining* termasuk *clustering*, *classification*, *association*, dan lainnya, dengan algoritma seperti C4.5, *K-Means*, dan Apriori yang telah berkembang menjadi FP-Growth. Penelitian ini menerapkan metode *clustering* dan algoritma *K-Means*.
- e. *Interpretation/Evaluation*: Menginterpretasikan pengetahuan atau pola yang ditemukan dari proses *data mining* dan mengevaluasi apakah pola tersebut sesuai dengan tujuan yang diinginkan (Syahputra, Mayola, & Guswandi, 2022).

3. Hasil dan Pembahasan

Metode *clustering* yang digunakan pada penelitian kali ini menggunakan dua pendekatan yaitu menggunakan pendekatan hierarki dan non-hierarki,

a. Metode Hierarki

Hasil yang didapatkan dari pengelompokan dan pengujian menggunakan analisis *clustering* dapat dilihat pada hasil dendrogram sebagai berikut:



Gambar 2. Hasil Dendrogram

Hasil dendrogram yang ditunjukkan oleh Gambar 2 telah melewati proses pemotongan pada titik 13. Dari proses ini, didapatkan hasil bahwa terdapat beberapa *outliers* yaitu data yang bernomor urut 14, 33, 12, 44, dan 5. Titik pemotongan pada dendrogram ini dipilih berdasarkan subjektivitas dari peneliti yang ingin melihat jumlah data yang sangat berbeda jauh dibandingkan dengan rata-rata data yang telah dikumpulkan. Terlihat pula bahwa hasil dari pemotongan ini telah membentuk sebuah *cluster* besar yang berisikan anggota berlabel 8 hingga 25. Ini menunjukkan bahwa data-data yang tidak tergabung ke dalam *cluster* tersebut merupakan *outliers* yang berarti data tersebut memiliki perbedaan yang signifikan dibanding dengan data lainnya.

Tabel 1. Agglomeration Schedule

Agglomeration Schedule						
Stage	Cluster Combined		Coefficients	Stage Cluster First Appears		Next Stage
	Cluster 1	Cluster 2		Cluster 1	Cluster 2	
1	8	31	,000	0	0	2
2	8	30	,570	1	0	6
3	7	26	,570	0	0	34
4	11	38	,666	0	0	8
5	5	22	,666	0	0	9
6	8	17	,745	2	0	8
7	28	40	1,550	0	0	30
8	8	11	1,550	6	4	11
9	5	46	1,940	5	0	15
10	21	41	1,981	0	0	13
11	8	20	2,120	8	0	14
12	3	4	2,120	0	0	16
13	10	21	2,215	0	10	22
14	8	45	2,685	11	0	26
15	5	19	2,685	9	0	19
16	3	39	2,780	12	0	18

17	18	35	2,780	0	0	22
18	3	42	2,865	16	0	23
19	5	43	2,919	15	0	20
20	5	49	2,960	19	0	21
21	5	23	3,350	20	0	23
22	10	18	3,350	13	17	31
23	3	5	3,585	18	21	27
24	16	50	3,692	0	0	32
25	13	47	3,978	0	0	39
26	1	8	3,978	0	14	28
27	3	27	4,023	23	0	28
28	1	3	4,593	26	27	29
29	1	36	4,667	28	0	30
30	1	28	4,681	29	7	33
31	10	32	4,689	22	0	34
32	16	24	4,768	24	0	41
33	1	37	4,782	30	0	35
34	7	10	5,061	3	31	35
35	1	7	5,237	33	34	36
36	1	2	5,412	35	0	37
37	1	29	5,527	36	0	38
38	1	48	6,146	37	0	40
39	13	34	6,647	25	0	42
40	1	6	6,810	38	0	41
41	1	16	7,361	40	32	42
42	1	13	7,440	41	39	43
43	1	9	7,452	42	0	44
44	1	25	8,065	43	0	45
45	1	14	12,267	44	0	48
46	12	44	14,148	0	0	47
47	12	15	16,212	46	0	49
48	1	33	17,430	45	0	49
49	1	12	22,599	48	47	0

Kemudian, hasil yang ditunjukkan pada Tabel 1 menunjukkan tentang bagaimana perilaku penggabungan oleh setiap data. Analisis *clustering* merupakan sebuah metode yang memiliki beberapa cara dalam pelaksanaannya. Penelitian ini mengadopsi teknik hierarki menggunakan metode aglomerasi, yang dalam pelaksanaannya, proses dimulai dari penggabungan dua objek yang paling mirip satu sama lainnya.

Berdasarkan Tabel 1, peneliti dapat mengetahui data mana yang paling mirip satu sama lainnya berdasarkan urutan bergabungnya data tersebut. Dapat dilihat bahwa pada urutan pertama, data 8 dan data 31 merupakan yang paling mirip satu sama lainnya. Dengan koefisien kesamaannya adalah 0.000, ini menunjukkan bahwa kedua data tersebut adalah sama persis. Berdasarkan analisa ini, orang yang bertanggung jawab pada toko ritel ABC dapat melakukan penelusuran pada pelanggan yang memiliki label tertentu, dan melihat kesamaan antara satu pelanggan dan pelanggan lainnya berdasarkan profil dari pelanggan-pelanggan yang

dibandingkan. Hal ini menjadi sangat berguna ketika sebuah toko ritel ingin melihat profil yang dimiliki oleh pelanggan yang datang. Toko ritel ABC dapat melakukan penelusuran profil pelanggan dengan menambahkan dan menggunakan fitur *membership* pada toko tersebut. Hal ini akan membuat pelanggan akan memasukkan beberapa data diri yang akan berguna bagi toko ritel ABC dalam analisa profil pelanggan.

Pada pengelompokan *cluster* yang dilakukan menggunakan metode hierarki, didapat sebanyak 5 *cluster* dengan karakter unik masing-masing. Hasil yang akan didapat adalah berupa profilisasi dari setiap *cluster*.

Tabel 2. Rangkuman Hasil Crosstab

Variabel	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4	Cluster 5
Usia (↑)	0,08110 (100,0%) ↑	2,10860 (50,0%) ↑	2,10860 (50,0%) ↑	-1,94640 (16,7%) ↓	4,13609 (100,0%) ↑
Jenis Kelamin (↑)	-1,51217 (100%) ↓	0,64807 (2,9%) ↑	0,64807 (2,9%) ↑	0,64807 (2,9%) ↑	0,64807 (2,9%) ↑
Pekerjaan (↑)	-0,23497 (97,9%) ↓	2,70216 (50,0%) ↑	2,70216 (50,0%) ↑	-0,23497. (2,1%) ↓	5,63930 (100,0%) ↑
Pendapatan (↑)	0,03021 (100,0%) ↑	2,29575 (25,0%) ↑	2,29575 (25,0%) ↑	0,78539 (20,0%) ↑	2,29575 (25,0%) ↑
Pengeluaran (↓)	-1,39819 (100,0%) ↓	2,91721 (50,0%) ↑	2,91721. (50,0%) ↑	0, 32797 (9,1%) ↑	2,05413 (50,0%) ↑
Perilaku Konsumen (↑)	-1,16333. (95,2%) ↓	0,84241 (3,4%) ↑	-1,16333. (4,8%) ↓	-0,23497 (3,4%) ↓	5,63930 (3,4%) ↑
Niat Beli Konsumen (↑)	0,03021 (100,0%) ↑	-0,72555 (3,2%) ↓	-0,72555 (3,2%) ↓	1,61494 (8,3%) ↑	-0,72555 (3,2%) ↓
Jarak Lokasi (↓)	-2,16604 (100,0%) ↓	-0,92119 (10,0%) ↓	-0,72555 (4,8%) ↓	-0,23050 (10,0%) ↓	5,53212 (10,0%) ↑
Harga (↑)	-1,02795 (100,0%) ↓	1,41955 (20,0%) ↑	-1,02795 (5,9%) ↓	3,86704 (100,0%) ↑	0,60371 (6,7%) ↑
Kepuasan Konsumen (↑)	-0,49497 (92,5%) ↓	-0,49497 (2,5%) ↓	-0,49497 (2,5%) ↓	1,97990 (10,0%) ↑	-0,49497 (2,5%) ↓

Berdasarkan Tabel 2, dapat dilihat bahwa arah panah yang ada pada setiap variabel menunjukkan harapan dari peneliti terhadap variabel tersebut. Arah panah ke atas menunjukkan bahwa variabel tersebut diharapkan memiliki nilai positif pada koefisiennya. Harapan ini berdasar pada kriteria terbaik yang dapat dimiliki oleh sebuah *cluster*. Dapat dilihat bahwa *cluster* 1 memiliki usia di atas rata-rata total, jenis kelamin di bawah rata-rata total, pendapatan di atas rata-rata total, pengeluaran di bawah rata-rata total, perilaku konsumen di bawah rata-rata total, niat beli konsumen di atas rata-rata total, jarak lokasi di bawah rata-rata total, harga di bawah rata-rata total, dan kepuasan juga termasuk di bawah rata-rata total. Hasil ini dapat dilihat sebagai sebuah *cluster* yang memiliki potensi cukup bagus untuk dijadikan sebagai target utama pelanggan dari toko ritel ABC. Hal ini didukung oleh usia pelanggan yang termasuk dalam

cluster 1 merupakan usia yang diharapkan yaitu berada di atas rata-rata total, kemudian memiliki pendapatan yang juga diharapkan yaitu berada di atas rata-rata total, serta memiliki nilai beli yang tinggi. Variabel-variabel yang disebutkan dapat menjadi pendukung bagi pelanggan tersebut untuk melakukan *repeat buying* dan berpotensi menjadi pelanggan tetap dari toko ritel ABC.

b. Metode Non-Hierarki

Metode non-hierarki yang digunakan pada penelitian kali ini adalah metode *K-Means clustering*. *K-Means* adalah algoritma yang digunakan untuk pengelompokan secara partisi. Setiap kelompok dipisahkan datanya ke dalam kelompok yang berbeda-beda. Dalam *K-Means*, diterapkan metode data *clustering* non-hierarki. Metode ini melakukan partisi data ke dalam satu atau lebih *cluster*/kelompok (Virgo et al., 2020). Pada metode non-hierarki jumlah *cluster* yang akan terbentuk telah ditentukan sejak awal oleh peneliti, yaitu sejumlah 3 *cluster*. Dalam penentuan jumlah *cluster* ini, peneliti ingin melihat anggota yang sebelumnya mungkin tersebar ke dalam 5 *cluster*, akan dapat dilihat kecenderungan untuk bergabung ke dalam *cluster* yang lebih luas karakteristiknya.

Final Cluster Centers

	Cluster		
	1	2	3
Zscore(Usia)	2,78443	-,32440	-,13809
Zscore(Jenis_Kelamin)	,64807	,43205	-,16932
Zscore(Pekerjaan)	3,68121	-,23497	-,23497
Zscore(Pendapatan)	2,29575	,40780	-,29636
Zscore(Pengeluaran)	2,62952	,41428	-,32517
Zscore (Perilaku_Konsumen)	,17383	,24069	-,07915
Zscore (Niat_Beli_Konsumen)	-,72555	,56172	-,09299
Zscore(Jarak_Lokasi)	,73861	,57263	-,21465
Zscore(Harga)	,33177	1,09321	-,32236
Zscore (Kepuasan_Konsumen)	-,49497	1,23744	-,29431

Gambar 3. Final Cluster Centers

Hasil yang ditunjukkan oleh Gambar 3 memperlihatkan titik tengah dari *cluster* dari setiap variabel per *cluster*. Pada *cluster* 1, kita dapat lihat bahwa koefisien yang dimiliki oleh variabel usia, jenis kelamin, pekerjaan, pendapatan, pengeluaran, perilaku konsumen, jarak, dan harga yang diharapkan oleh pelanggan adalah positif. Ini menjadi sebuah informasi yang sangat berguna bagi toko ritel ABC karena dapat digunakan sebagai acuan untuk memikirkan strategi bisnis yang dapat diterapkan kepada calon pelanggan yang memiliki karakteristik seperti pada *cluster* 1.

4. Simpulan

Berdasarkan hasil perhitungan, *cluster* terbaik yang dapat direkomendasikan adalah *cluster* 1. *Cluster* ini memiliki usia, jenis kelamin, pekerjaan, pendapatan, dan pengeluaran di atas rata-rata, dengan perilaku konsumen dan niat beli di posisi yang cukup tinggi. Meskipun kepuasan konsumen berada di bawah rata-rata, *cluster* ini sangat potensial untuk dipertimbangkan dalam analisis strategi pemasaran baru. Sebaliknya, *cluster* 1 dan *cluster* 4 juga menunjukkan potensi yang cukup untuk pertimbangan strategi pemasaran, sementara *cluster* 3 dan *cluster* 5 kurang potensial dalam hal tersebut.

Daftar Pustaka

- Anshary, M. H., Soesanto, O., & Ayatullah. (2022). Berdasarkan grafik elbow method dan silhouette score, didapatkan jumlah kluster sebanyak. *RAGAM: Journal of Statistics and Its Application*, 09.
- Asih, D. P., Irawan, B., & Bahtiar, A. (2024). Pengelompokan Data Transaksi Dalam Menentukan Strategi Penjualan Menggunakan Algoritma K-Means . *Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika*, 146.
- Baihaqie, M. R. (2023). *Analisis Perilaku Konsumen pada Usaha Ritel dengan menggunakan Metode Association Rule - Market Basket Analysis dan Clustering sebagai Usulan Strategi Peningkatan Penjualan (Studi Kasus: Intimart Gedongan)*. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- Ediyanto, Mara, M. N., & Satyahadewi, N. (2013). Pengklasifikasian Karakteristik Dengan Metode K-Means Cluster Analysis. *Buletin Ilmiah Mat. Stat. dan Terapannya (Bimaster)*, 134.
- Hidayatullah, R. (2020). *Pengaruh Store Atmosphere Dan Price Discount Terhadap Purchase Decision Dengan Hedonic Shopping Motivation Sebagai Variabel Intervening*. Jakarta: Universitas Esa Unggul.
- Mauludin, M. S., Saputra, A. D., Sari, A. Z., Munawaroh, I., & Regita, E. P. (2022). Analisis Perilaku Konsumen Dalam Transaksi Di e-Commerce. *Dynamic Management Journal*, 110.
- Noviati, Mulyawan, Kurnia, D. A., & Rinaldi, A. R. (2022). Clustering Data Penjualan Produk Makanan pada Toko Toserba. *MEANS (Media Informasi Analisa dan Sistem)*, 83.
- Permana, A. S., & Sanjaya, R. (2023). Penerapan Data Mining Dalam Pengelompokan Bahan Sembako Laris Menggunakan K-Means Clustering (Studi Kasus: Toko Gunung Bumi). *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 2423.
- Ramadhani, L., I. P., & Amijaya, F. D. (2018). Penerapan Metode Complete Linkage dan Metode Hierarchical Clustering Multiscale Bootstrap (Studi Kasus: Kemiskinan Di Kalimantan Timur Tahun 2016). *Jurnal EKSPONENSIAL* .
- S, A. J., & Cahyo, H. (2017). Perilaku Konsumen Materialistik: Perspektif Pembelian, Compulsive Buying dan Environmental Attitudes. *Universitas Wijayakusuma Purwokerto*, 178.
- Sandova, F., Kurniawan, R., & Supratati, T. (2024). Penerapan Data Mining Menggunakan Metode K-Means Clustering Pada Penjualan Tas Di Asia Toserba Cirebon. *Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika*, 245.
- Suwaryo, N., Rahman, A., Atmaja, D. M., & Basri, A. (2023). Klasterisasi Stok Produk Retail Untuk Menentukan Pergerakan Kebutuhan Konsumen Dengan Algoritma K-Means. *Bulletin of Information Technology (BIT)*, 311.
- Syahputra, H., Mayola, L., & Guswandi, D. (2022). Clustering Tingkat Penjualan Menu (Food and Beverage) Menggunakan Algoritma K-Means. *Jurnal KomtekInfo*, 30-31.
- Virgo, I., Defit, S., & Yunus, Y. (2020). Klasterisasi Tingkat Kehadiran Dosen Menggunakan Algoritma K-Means Clustering. *Jurnal Sistem Informasi dan Teknologi*, 24.
- Wahyudi, S. I., & Wibowo, A. (2022). Implementasi Metode K-Means Clustering Untuk Pengelompokan Data Stok Produk Toko Online Perdagangan Kaos. *Seminar Nasional Mahasiswa Fakultas Teknologi Informasi*, 477.

Analisis Pola Pembelian Konsumen di Minimarket ABC Menggunakan Metode AR-MBA

Distian Pingkan Lumi ^{*1)}, Sastyaviani Irami Putri²⁾, dan Mutia Putri Gaisani³⁾

^{1, 2, 3)} Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia, Sleman,
Yogyakarta, 55584, Indonesia

Email: 22522144@students.uii.ac.id, 21522203@students.uii.ac.id, 21522326@students.uii.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pola perilaku pelanggan berdasarkan keranjang belanja mereka di minimarket ABC. Metode yang digunakan adalah *Association Rule-Market Basket Analysis* (AR-MBA) dengan algoritma *FP-Growth*. Data transaksi belanja dari 50 struk belanja konsumen di *mini market* ABC diolah menggunakan *software* Excel dan Rapidminer. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat lima hubungan asosiatif yang valid, di mana tiga di antaranya memiliki nilai *lift ratio* lebih dari 1. Rekomendasi yang diberikan adalah penentuan tata letak *mini market* ABC dengan mendekatkan produk yang sering dibeli secara bersamaan ataupun mendekatkan produk yang sering terbeli dengan produk yang jarang terbeli. Selain itu, penelitian ini juga menyarankan penggunaan katalog promosi yang memilih produk yang jarang terbeli dan yang sering terbeli serta penggunaan *voucher* belanja untuk menarik pelanggan. Dengan demikian, penelitian ini dapat membantu minimarket ABC meningkatkan penjualan produk dengan memahami lebih baik perilaku pelanggan.

Kata kunci: *Association Rule*, *Market Basket Analysis*, Minimarket, Strategi Penjualan

1. Pendahuluan

Sektor ritel saat ini berkembang pesat sehingga meningkatkan persaingan bisnis secara signifikan. Untuk dapat berhasil dalam persaingan di era ini, perusahaan harus memiliki pendekatan yang memahami perilaku pelanggan. Perusahaan yang sukses memiliki pemahaman yang mendalam mengenai pelanggannya dan bagaimana perilaku mereka berlanjut (Yusuf & Kuncoro, 2019). Salah satu cara untuk memahami perilaku pelanggan adalah dengan cara menganalisis keranjang belanja pelanggan dengan memanfaatkan data struk belanja yang ada sehingga menemukan pola belanja pelanggan yang dapat dimanfaatkan (Rozi, Syaifudin, & Al Mufidah, 2019).

Terdapat beberapa jenis bisnis ritel, salah satunya adalah minimarket. Minimarket memiliki peran penting dalam industri ritel Indonesia. Hal ini dikarenakan minimarket, menjual kebutuhan sehari-hari masyarakat, seperti makanan, minuman, barang-barang rumah tangga, produk perawatan, hingga alat tulis. Selain itu minimarket juga mencakup program loyalitas pelanggan, fasilitas pembayaran tagihan, serta berbagai promosi yang bertujuan untuk memberikan manfaat kepada pelanggan. Minimarket sudah mempunyai lebih dari puluhan ribu cabang di Indonesia. Salah satu cabang yang berada di daerah Ngemplak, Sleman yaitu minimarket ABC tentu harus meningkatkan bisnis ritel, maka dari itu diperlukan strategi pemasaran yang cocok salah satunya adalah menganalisis perilaku konsumen. Tujuan penelitian ini sangat relevan dengan masalah yang terjadi yaitu menganalisis pola perilaku pelanggan dengan pendekatan *Market Basket Analysis* sehingga dapat menciptakan strategi pemasaran untuk menarik perhatian pembeli dan mencapai keberhasilan dalam minimarket ABC.

Untuk mengetahui pola perilaku pelanggan berdasarkan keranjang belanjanya. Maka minimarket ABC bisa melakukan analisis menggunakan *association rule* untuk menemukan pola-pola asosiasi antar produk yang terjual. Pada penelitian ini menggunakan 50 data transaksi dari struk pembelian konsumen minimarket ABC, meskipun penggunaan 50 data transaksi

termasuk *dataset* yang relatif kecil, tetapi penelitian ini tetap dapat memberikan wawasan dan ilmu yang signifikan mengenai pola pembelian konsumen. Penggunaan data 50 transaksi dilakukan dengan syarat data harus mengandung variasi dari produk yang ada atau bisa mewakili sebuah populasi. Penggunaan data dengan jumlah seperti itu didukung oleh beberapa penelitian terdahulu di mana hasilnya dapat menunjukkan keefektifan analisis walaupun *dataset* yang dipakai cenderung kecil.

Penelitian mengenai analisis dan identifikasi pola pembelian antar produk dari data transaksi pada ritel dan minimarket telah banyak dilakukan dengan metode yang sering digunakan adalah AR-MBA atau *Association Rule Market Basket Analysis*. Salah satu algoritma yang dapat digunakan pada metode tersebut adalah FP-Growth, algoritma ini dapat menghasilkan aturan asosiasi lebih cepat dan banyak dibandingkan algoritma lainnya yaitu algoritma Apriori (Habibah, Solehudin, & Primajaya, 022)

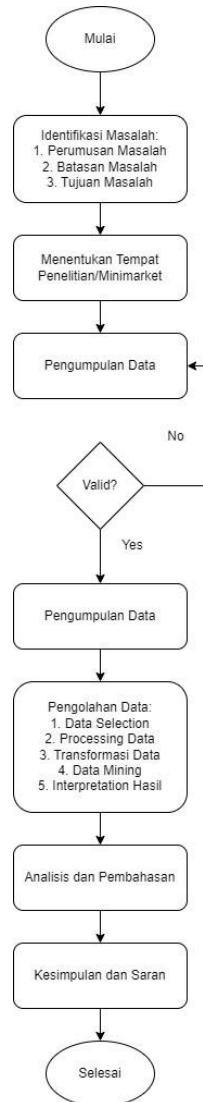
Banyak dari penelitian sebelumnya yang sudah mengaplikasikan metode FP-Growth seperti, penelitian yang dilakukan oleh Nugroho, Islahudin, Normasari, & Al Haklim (2024) di mana dapat menghasilkan penentuan produk *bundling* pada suatu UMKM untuk peningkatan pembelian konsumen. Implementasi yang diberikan juga dapat berupa penentuan tata letak rak produk, seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Padillah, Tambunan, & Nasution (2022) penggunaan algoritma FP-Growth menghasilkan strategi pemasaran berupa pengaturan tata letak barang sehingga volume penjualan akan meningkat.

Terdapat perbedaan dalam menggunakan *dataset* transaksi, Pada penelitian sebelumnya menggunakan *dataset* yang cenderung besar dan penelitian yang menggunakan *dataset* transaksi yang lebih kecil masih relatif tidak banyak. Namun demikian, hal tersebut tidak berarti penggunaan *dataset* kecil seperti dengan jumlah 50 data transaksi tidak dapat memberikan wawasan atau ilmu untuk perusahaan khususnya minimarket ABC, karena dengan menggunakan algoritma seperti FP-Growth yang dipilih dalam penelitian ini sudah terbukti dapat mengidentifikasi *frequent itemsets* dengan efisien walaupun pada *dataset* yang lebih kecil (Lestari & Ali, 2023).

Pada penelitian yang dilakukan oleh Ibrahim, Putra, Azhra, & Fadhlurrohman (2021) menunjukkan bahwa metode AR-MBA dengan menggunakan jumlah data cenderung kecil dan terbatas dapat menemukan aturasi asosiasi yang relevan dan berguna. Selain itu, penelitian pada Miraldi, Rachmat, & Susanto (2014) dengan menggunakan algoritma FP-Growth menghasilkan pola frekuensi yang dapat ditemukan pada *dataset* yang kecil, penelitian ini juga salah satu bentuk bukti bahwa dengan menggunakan algoritma ini pada *dataset* yang kecil pun dapat memberikan wawasan yang berharga untuk *user*. Penelitian lainnya yang menggunakan *dataset* yang kecil adalah penelitian yang dilakukan oleh Nugraheni dan Nugroho (2023), "Penerapan *Association Rules Market Basket Analysis* Terhadap Data Penjualan Toko Harmoni Menggunakan Algoritma FP-Growth" oleh Sunarto, Nuraini, Khatarina, & Tambunan (2023) ,dan penelitian Ardianyah, Harahap, & Muti Ah (2024) berjudul "*Utilizing FP-Tree and FP-Growth Algorithms for Data Mining on Medicine Salles Transactions at Khanina's*" menggunakan *dataset* kecil, penelitian ini juga mampu membuktikan bahwa penggunaan algoritma Apriori juga dapat menghasilkan analisis AR-MBA tetap relevan dan dapat memberikan ilmu penting bagi perusahaan meskipun data yang digunakan berjumlah kecil. Dengan begitu, minimarket ABC dapat memanfaatkan hasil tersebut sebagai acuan mengenai tata letak toko maupun rekomendasi promo yang baik untuk meningkatkan penjualan produk.

2. Metode

Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi produk yang dapat dibeli secara kolektif oleh pelanggan dengan merujuk pada aturan yang dibentuk menggunakan metode MBA. Terdapat beberapa tahapan dalam penelitian ini.



Gambar 1. Alur Penelitian

Berdasarkan gambar 1 yang merupakan langkah-langkah penelitian, tahap pertama peneliti menyiapkan segala alat, bahan, jurnal pendukung yang berperan sebagai referensi – referensi penelitian yang dijalankan Selanjutnya melakukan observasi permasalahan penelitian dan mengidentifikasi permasalahan dengan menggunakan teknik dari salah satu *data mining* yaitu AR-MBA dan algoritma FP-Growth di mana bertujuan untuk menghasilkan aturan-aturan asosiasi yang nanti dapat menganalisis pola pembelian konsumen dan membantu strategi pemasaran. Penentuan tempat dilakukan dengan memilih salah satu toko ritel atau minimarket di wilayah Sleman, Yogyakarta yaitu minimarket ABC. Pemilihan lokasi penelitian ini dikarenakan kemudahan akses terhadap data transaksi yang akan diambil dan relevansi terhadap penelitian. Pada tahap selanjutnya mengumpulkan data transaksi dari struk belanja konsumen *mini market* ABC sebanyak 50 data transaksi, data yang diambil sudah harus memenuhi syarat yang mencakup variasi produk yang dibeli, jumlah pembelian, transaksi yang relevan.

Selanjutnya diolah, dengan melakukan tahap *pre-processing* terlebih dahulu dimana merupakan tahap yang harus dilakukan sebelum dilanjutkan pada proses *data mining* (Dzulkarnaen, 2020) dengan melibatkan penghapusan data *noise*, *inconsistent*, dan data *missing value*. Setelah itu proses transformasi dilakukan dengan mengubah data menjadi bilangan biner yaitu dalam bentuk angka 1 dan 0 (Sharif, 2019). Angka 1 yang berarti terdapat adanya transaksi, dan angka 0 berarti tidak adanya transaksi. Pada tahap selanjutnya data diolah menggunakan salah satu teknik *data mining* yaitu AR-MBA, *Association rules* adalah salah satu metode *data mining* yang digunakan untuk mengidentifikasi keterkaitan antara item-item dalam kumpulan data yang telah ditetapkan sebelumnya (Sigit Arianto & Andung Jati Nugroho, 2022). Penerapan *Association Rule* memiliki manfaat dalam menganalisis keranjang belanja di minimarket, sehingga sering kali disebut juga sebagai *Market Basket Analysis*. Terdapat tiga parameter yang digunakan dalam *association rule*, yaitu *support*, *confidence*, dan *lift ratio*. Penelitian ini juga menggunakan algoritma *FP-Growth* sebagai algoritma utamanya. Algoritma *FP-Growth* mengadopsi prinsip pembentukan struktur pohon, yang dikenal sebagai *FP-Tree*, dalam proses pencarian *frequent itemsets* (Ardianto & Fitrihanah, 2019). Pengolahan data ini dilakukan menggunakan *software* Excel dan *Software* Rapidminer yang nantinya akan menghasilkan *knowledge-knowledge* yang berguna dan dapat diterapkan oleh minimarket ABC serta dapat diimplementasikan pada minimarket ABC dengan berupa pemberian *voucher* atau promo dan penentuan tata letak produk.

3. Hasil dan Pembahasan

Pada penelitian ini dilaksanakan di toko ritel yaitu Minimarket ABC yang berlokasi di di Jl. Kaliurang KM 14, Umbulmartani, Ngemplak, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta., dengan menganalisis 50 data transaksi. Setelah data dimasukkan, ditetapkan minimum *support* sebesar 10% dan minimum *confidence* sebesar 50%. Nilai *confidence* ini digunakan untuk menilai tingkat kepastian hubungan antara item atau produk berdasarkan aturan asosiasi dan dapat dirumuskan seperti pada Gambar 2.

$$Confidence = P(B/A) = \frac{Support\ A \cap B}{P(A)}$$

Gambar 2. Rumus nilai *confidence*

Nilai *support* digunakan untuk melihat seberapa banyak frekuensi suatu kombinasi item-item muncul dalam *dataset* dapat dirumuskan seperti pada Gambar 3.

$$Support = P(A, B) = \frac{\text{banyaknya transaksi yang mengandung } A \cap B}{\text{Total Transaksi}}$$

Gambar 3. Rumus Nilai *Support*

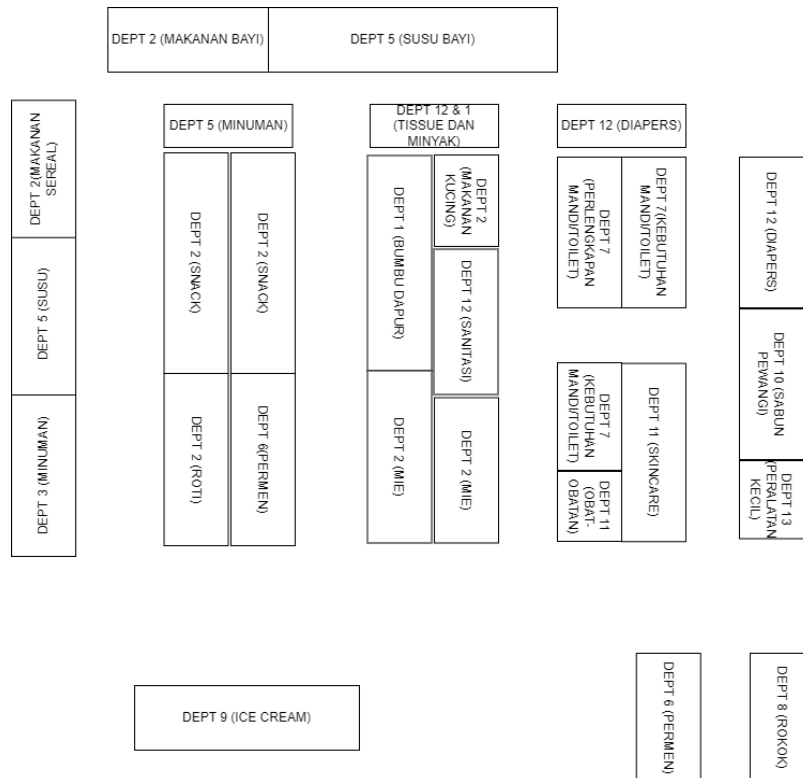
Nilai *lift ratio* ditujukan jika mendapatkan nilai lebih dari 1 berartikan *rule* yang berisikan hubungan kombinasi antar dua item valid dapat dirumuskan seperti pada Gambar 4.

$$Lift\ ratio = \frac{Support\ (A \cap B)}{Support\ (A) \times Support\ (B)}$$

Gambar 4. Rumus Nilai *Lift Ratio*

3.1 Kondisi Minimarket ABC

Layout pada Minimarket ABC ini berbentuk lorong, yang di mana mempermudah pelanggan dalam menjangkau dan memilih barang seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Layout Awalan

Dengan banyaknya *item* yang terjual, Minimarket ABC mengalami kesulitan dalam penempatan atau *layout item* yang dijual. Maka dari itu digunakan metode *Association Rule* yang dimana diharapkan akan membantu untuk memecahkan masalah seperti penempatan tata letak yang pas dan benar sehingga penjualan produk meningkat.

3.2 Analisis Association Rule – Market Basket Analysis

No.	Premises	Conclusion	Support	Confidence	LaPlace	Gain	p-s	Lift	Conviction
1	DEPT 4	DEPT 2	0.140	0.538	0.905	-0.380	-0.011	0.928	0.910
2	DEPT 12	DEPT 2	0.100	0.556	0.932	-0.260	-0.004	0.958	0.945
3	DEPT 3	DEPT 2	0.260	0.650	0.900	-0.540	0.028	1.121	1.200
4	DEPT 1	DEPT 2	0.100	0.714	0.965	-0.180	0.019	1.232	1.470
5	DEPT 5	DEPT 2	0.220	0.846	0.968	-0.300	0.069	1.459	2.730

Gambar 6. Output Rules di Minimarket ABC

Berdasarkan Gambar 6, terdapat nilai *support* yang berarti kombinasi transaksi yang mencakup proporsi dari transaksi tertentu yang mencakup item A dan B, setelah itu terdapat nilai *confidence* yang berarti suatu nilai yang mencerminkan kemungkinan bahwa jika A terjadi, maka B juga akan terjadi, terakhir *lift ratio* yang berarti parameter untuk mengetahui *rules* yang terbentuk itu valid atau tidak. Berikut merupakan hasil *rules* dari pengujian:

1. Pada *rule* 1 terbentuk kombinasi antara DEPT 4 (air mineral) dengan DEPT 2 (Makanan) yang artinya jika DEPT 4 yaitu air mineral terbeli maka terdapat nilai *confidence* sebesar 0.538 atau 53,8% DEPT 2 terbeli, hal tersebut didukung dengan nilai *support* sebesar 0.140 atau 14%. *Rule* ini memiliki nilai *lift ratio* sebesar 0,928.

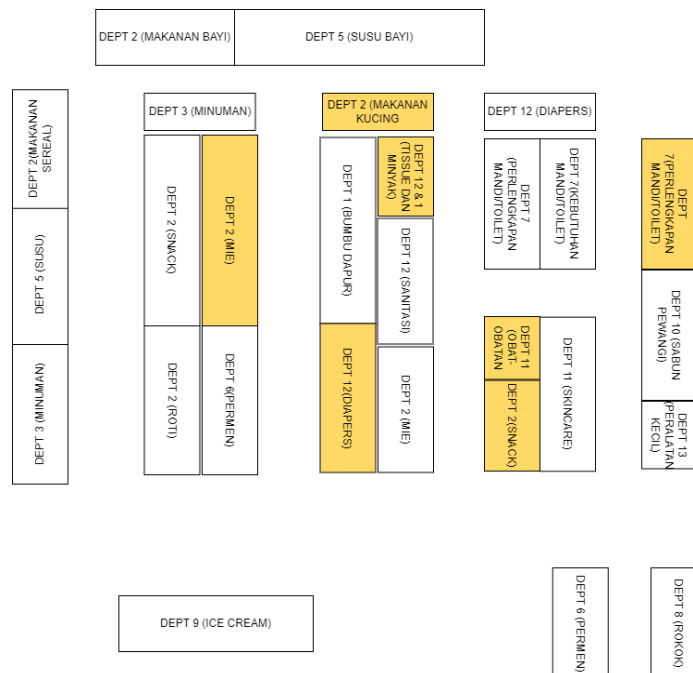
2. Pada *rule 2* terbentuk kombinasi antara DEPT 12 (Sanitasi) dengan DEPT 2 (Makanan) yang artinya jika DEPT 12 yaitu Sanitasi terbeli maka terdapat nilai *confidence* sebesar 0.556 atau 55,6% DEPT 2 terbeli, hal tersebut didukung dengan nilai *support* sebesar 0.100 atau 10%. *Rule* ini memiliki nilai *lift ratio* sebesar 0,945.
3. Pada *rule 3* terbentuk kombinasi antara DEPT 3 (minuman dan *jelly*) dengan DEPT 2 (Makanan) yang artinya jika DEPT 3 yaitu Minuman dan *Jelly* terbeli maka terdapat nilai *confidence* sebesar 0.650 atau 65% DEPT 2 terbeli, hal tersebut didukung dengan nilai *support* sebesar 0.260 atau 26%. *Rule* ini memiliki nilai *lift ratio* sebesar 1,200.
4. Pada *rule 4* terbentuk kombinasi antara DEPT 1 (Bumbu Dapur dan Bahan Masakan) dengan DEPT 2 (Makanan) yang artinya jika DEPT 1 yaitu Bumbu Dapur dan Bahan Masakan terbeli maka terdapat nilai *confidence* sebesar 0.714 atau 71,4% DEPT 2 terbeli, hal tersebut didukung dengan nilai *support* sebesar 0.100 atau 10%. *Rule* ini memiliki nilai *lift ratio* sebesar 1,232.
5. Pada *rule 5* terbentuk kombinasi antara DEPT 5 (Susu) dengan DEPT 2 (Makanan) yang artinya jika DEPT 5 yaitu Susu terbeli maka terdapat nilai *confidence* sebesar 0.846 atau 84,6% DEPT 2 terbeli, hal tersebut didukung dengan nilai *support* sebesar 0.220 atau 22%. *Rule* ini memiliki nilai *lift ratio* sebesar 1,459.

Berdasarkan nilai *lift ratio* yang didapat pada masing-masing *rules*, *rules* yang dinyatakan valid atau mempunyai nilai lebih dari 1 hanya terdapat 3 *rules* yaitu *rule* ke-3, *rule* ke-4 dan *rule* ke-5. Maka *rules* yang tidak valid yaitu *rule* ke-1 dan *rule* ke-2 dinyatakan tidak memiliki hubungan antar item.

3.3 Rekomendasi yang Diberikan

Berdasarkan hasil dari pengolahan data yang didapatkan, maka dapat diberikan rekomendasi, yaitu:

1. Penentuan Tata Letak



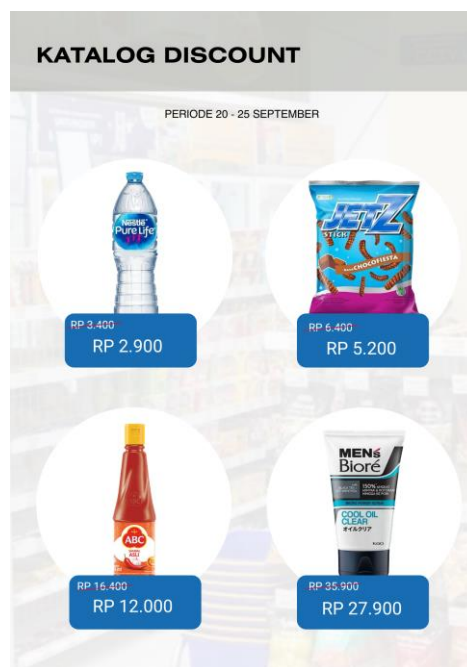
Gambar 7. Layout Usulan

Rekomendasi tata letak baru seperti Gambar 7 ini ditentukan sesuai dengan analisis *output rules* pada Rapidminer. Terdapat 7 rak dari produk-produk yang dipindahkan, barang yang

sering terjual secara bersamaan diletakkan berdekatan, salah satunya adalah DEPT 2 yaitu makanan mie didekatkan dengan DEPT 3 yaitu minuman. Selain itu barang yang sering terbeli didekatkan dengan barang yang jarang terbeli, salah satunya adalah DEPT 11 yaitu obat-obatan didekatkan dengan DEPT 2 yaitu makanan *snack*. Hal tersebut bertujuan untuk membuat konsumen membeli produk-produk yang dijual pada toko minimarket ABC dan dengan pendekatan produk sering terbeli dan produk jarang terbeli juga dapat meningkatkan penjualan produk.

2. Katalog Promosi

Sama halnya dengan penempatan tata letak, dalam menentukan katalog promosi terdapat hal yang perlu diperhatikan. Dengan memilih produk yang jarang terbeli dan yang sering terbeli.



Gambar 8. Katalog Promosi

Berdasarkan Gambar 8, ditentukan diskon yang konsumen bisa dapatkan, seperti dari produk air mineral, yakni Nestle Pure Life mendapatkan potongan harga Rp500 dari harga normal. Adapun produk chiki Jetz yang mendapatkan potongan harga sebesar Rp1.200 dari harga normal, Saos sambal ABC mendapatkan potongan harga sebesar Rp4.400 dari harga normal, dan terakhir produk Biore Men yang mendapatkan potongan harga Rp9.000 dari harga normal. Dapat dilihat dari besarnya potongan harga per-*item*, produk Saos Sambal ABC dari DEPT 1 dan Biore Men dari DEPT 11 adalah produk yang cenderung jarang dibeli dibandingkan dengan produk Nestle Pure Life dari DEPT 5 dan Chiki Jetz dari DEPT 2, maka dari itu potongan harga dari produk Saos Sambal ABC dan Biore Men lebih besar, tentunya hal tersebut akan menarik konsumen untuk membeli produk-produk tersebut.

3. Voucher

Pembuatan *voucher* dapat menarik pelanggan untuk membeli produk. Bentuk dari *voucher* belanja bisa berupa pemberian diskon dalam minimal pembelian ataupun setiap pembelian mendapatkan *item* gratis.



Gambar 9. Voucher Belanja

Pada Gambar 9, diketahui bahwa dengan membeli produk sabun Rinsso Bubuk 770g maka akan mendapatkan 1 *item* sabun dari Nuvo. Akan tetapi perlu diperhatikan kembali persyaratan yang tertera pada poster tersebut, yaitu dengan setiap pembelian 2 pcs Rinsso Bubuk 770g maka akan mendapatkan sabun mandi Nuvo tersebut. *Voucher* tersebut memiliki ketetapan berlakunya *voucher* ini bisa digunakan, yakni hanya bisa digunakan atau berlaku pada tanggal 20 September 2023 saja. Penentuan pembuatan *voucher* ini berdasarkan produk yang jarang terbeli dan sering terbeli sebagai syarat untuk mendapatkan produk gratis, hal ini diharapkan dapat meningkatkan volume penjualan dari produk tersebut.

4. Simpulan

Berdasarkan hasil pengolahan serta analisis data dari 50 data transaksi belanja konsumen pada minimarket ABC diperoleh 5 hubungan asosiatif dimana 3 *rules* di antaranya memiliki nilai *lift ratio* lebih dari 1 atau merupakan *rules* yang valid. 3 *rules* tersebut adalah *rule* ke-3 terbentuk kombinasi antara DEPT 3 (minuman dan *jelly*) dengan DEPT 2 (Makanan), *rule* ke-4 terbentuk kombinasi antara DEPT 1 (Bumbu Dapur dan Bahan Masakan) dengan DEPT 2 (Makanan) dan *rule* ke-5 terbentuk kombinasi antara DEPT 5 (susu) dan DEPT (Makanan).

Maka dari itu, rekomendasi yang dapat diberikan adalah penentuan tata letak atau *layout* minimarket ABC dengan mendekatkan produk yang sering dibeli secara bersamaan ataupun mendekatkan produk yang sering terbeli dengan produk yang jarang dibeli. Selain itu dapat melakukan pembuatan katalog dengan memberikan promo pada produk jarang terbeli, dan pembuatan *voucher* dibentuk berdasarkan produk yang sering terbeli dari pembelian produk yang jarang terbeli.

Daftar Pustaka

- Ardiansyah, R., Harahap, S. Z., & Muti Ah, R. (2024). Utilizing FP-Tree and FP-Growth Algorithms for Data Mining on Medicine Sales Transactions at Khanina's. *INFORMATIKA Vol 12 No 3*, 404-416.
- Ardianto, Aldi, & Fitrianah, Devi. (2019). Penerapan Algoritma FP-Growth Rekomendasi Trend Penjualan ATK Pada CV. Fajar Sukses Abadi. *Jurnal Telekomunikasi Dan Komputer*, 9(1), 49. <https://doi.org/10.22441/incomtech.v9i1.3263>

- Dzulkarnaen, R. (2020). Perancangan Aplikasi Data Mining Market Basket Analysis pada Apotek Permata dengan Metode Hybrid-Dimension Association Rules. *Journal of Information Technology* 2(2), 67-72.
- Elisa, E. (2018). Market Basket Analysis Pada Mini Market Ayu Dengan Algoritma Apriori . *JURNAL RESTI* , 472-478.
- Habibah, A. S., Solehudin, A., & Primajaya, A. (2022). Analisis Persediaan Stok Barang Warung Menggunakan Data Mining Dengan Algoritma Fp-Growth(Studi Kasus: Warung Bu Nani). *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan* 8(17), 46-58.
- Ibrahim, F., Putra, B. S., Azhra, F. H., & Fadhlurrohman, N. (2021). Analysis of marketing strategy at setia stores using ahp clustering, and ar-mba method. *International Journal of Industrial Optimization Vol. 2, No. 2*, 125-140.
- Lestari, L. M., & Ali, I. (2023). Penerapan Algoritma FP-Growth Untuk Menentukan Pola Penjualan Toko Ellia Umami . *Journal of Student Research (JSR) Vol.1, No.3*, 367-378.
- Miraldi, R. N., Rachmat, A., & Susanto, B. (2014). Implementas Algoritma FP-GROWTH untuk Sistem Rekomendasi Buku di Perpustakaan UKDW. *INFORMATIKA Vol.10 No.1* , 29-39.
- Nugraheni, W., & Nugroho, A. (2023). Penerapan Metode Market Basket Analysis (MBA) dengan Algoritma Apriori Untuk Menganalisis Pembelian Jajanan Khas Lebaran Pada Warung Sembako di Toko Win . *Jurnal JTİK (Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi)* 7 (4) , 639-641.
- Nugroho, D. S., Islahudin, N., Normasari, V., & Al Haklim, S. Z. (2024). PENERAPAN MARKET BASKET ANALYSIS (MBA) DATA MINING MENGGUNAKAN METODE ASOSIASI APPRIORI DAN FP-GROWTH UNTUK STRATEGI BUNDLING PADA WAN CAFFEINE ADDICT YOGYAKARTA. *JISI (Jurnal Integrasi Sistem Industri Vol 11 No 1*, 121-134.
- Padillah, A., Tambunan, H. S., & Nasution, R. A. (2022). Penerapan Algoritma FP-Growthdalam Menganalisa Pola dan Tata Letak Bahan Makanan. *JOMLAI: Journal of Machine Learning andArtificial Intelligence Vol.1, No.4*, 325-336.
- Sharif, A. (2019). Data Mining Untuk Memprediksi Itemset Promosi Penjualan Barang Menggunakan Metode Market Basket Analysis (Mba) (Studi Kasus: Toko Sentra Ponsel). *Jurnal Mantik Penusa*, 3, 117-123.
- Sigit Arianto, & Andung Jati Nugroho. (2022). Association Rule-Market Basket Analisis (Ar-Mba) Untuk Menganalisis Keputusan Dalam Pembelian Sayur. *Jurnal Cakrawala Ilmiah*, 1(10), 2637–2648.
<https://doi.org/10.53625/jcijurnalcakrawalailmiah.v1i10.2595>
- Sunarto, Nuraini, S. S., Khatarina, I., & Tambunan, F. (2023). Penerapan Association RulesMarket Basket Analysis Terhadap Data Penjualan Toko Harmoni Menggunakan Algoritma FP-Growth. *Journal of Journal of Operation System* 1(2), 61-67.
- Yusuf, M. H., & Kuncoro, A. J. (2019). Analisa Peningkatan Penjualan Produk Menggunakan Metode Market Basket Analysis Pada Perbaikan Layout Dalam Association Rules Di Minimarket Alfamart Jalan Damai, Sleman, Yogyakarta. *Jurnal AR-MBA*.

Implementasi Metode *Association Rules-Market Basket Analysis* Untuk Peningkatan Strategi Penjualan di Toko X

Samaya Dhiya Salindri¹⁾, Nisrina Faiza Mufid²⁾, Ar Royyan Utama T.³⁾, dan Fajra Aqila Adesti⁴⁾

^{1,2,3,4)}Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia, Sleman, 55584, Indonesia

Email: 22522107@students.uii.ac.id, 21522290@students.uii.ac.id, 21522311@students.uii.ac.id, dan 22522226@students.uii.ac.id

ABSTRAK

Toko X adalah salah satu toko retail yang menyediakan kebutuhan sehari-hari seperti makanan, minuman, barang keperluan rumah tangga, produk kecantikan, dan sejenisnya. Toko X memiliki produk yang jarang terjual atau kurang laku sehingga pendapatan toko menurun. Untuk itu dibutuhkan strategi *marketing* agar penjualan dapat meningkat dengan menggunakan data transaksi konsumen. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui hubungan asosiatif yang terjadi antar item di Toko X dan membentuk solusi dari permasalahan penjualan item pada Toko X. Metode *Association Rule-Market Basket Analysis* dengan algoritma *FP-Growth* digunakan untuk mengetahui perilaku konsumen terkait produk yang sering terbeli bersamaan. Berdasarkan data yang telah diolah, diperoleh 5 *rules* valid yang terbentuk dengan *lift ratio* >1. Maka dari itu, dapat diberikan rekomendasi perbaikan *layout* toko, poster, dan kupon belanja berdasarkan *rules* yang terbentuk.

Kata kunci: *Association Rule*, *Market Basket Analysis*, Retail, Strategi Penjualan

1. Pendahuluan

Setiap orang menginginkan kemudahan dalam membeli produk yang mereka perlukan di toko yang aksesnya mudah dan menjual barang yang mereka inginkan. Oleh karena itu, strategi yang bisa digunakan oleh perusahaan untuk menarik pelanggan adalah dengan membuka dan meningkatkan jumlah lokasi penjualan di sekitar daerah pasar yang dituju. Retail sebagai komponen kunci dalam rantai distribusi barang dirancang untuk mempermudah proses pembelian. Sistem retail membuat konsumen tidak perlu berpergian jauh ke lokasi produksi sehingga proses pembelian lebih sederhana (Rizqi, 2022). Selain itu, terkadang retail memiliki daya tarik tersendiri bagi konsumen yang mana memiliki harga grosir yang lebih murah dibandingkan dengan pusat perbelanjaan lainnya sehingga lebih banyak dicari oleh masyarakat (Artsitella *et al.*, 2021).

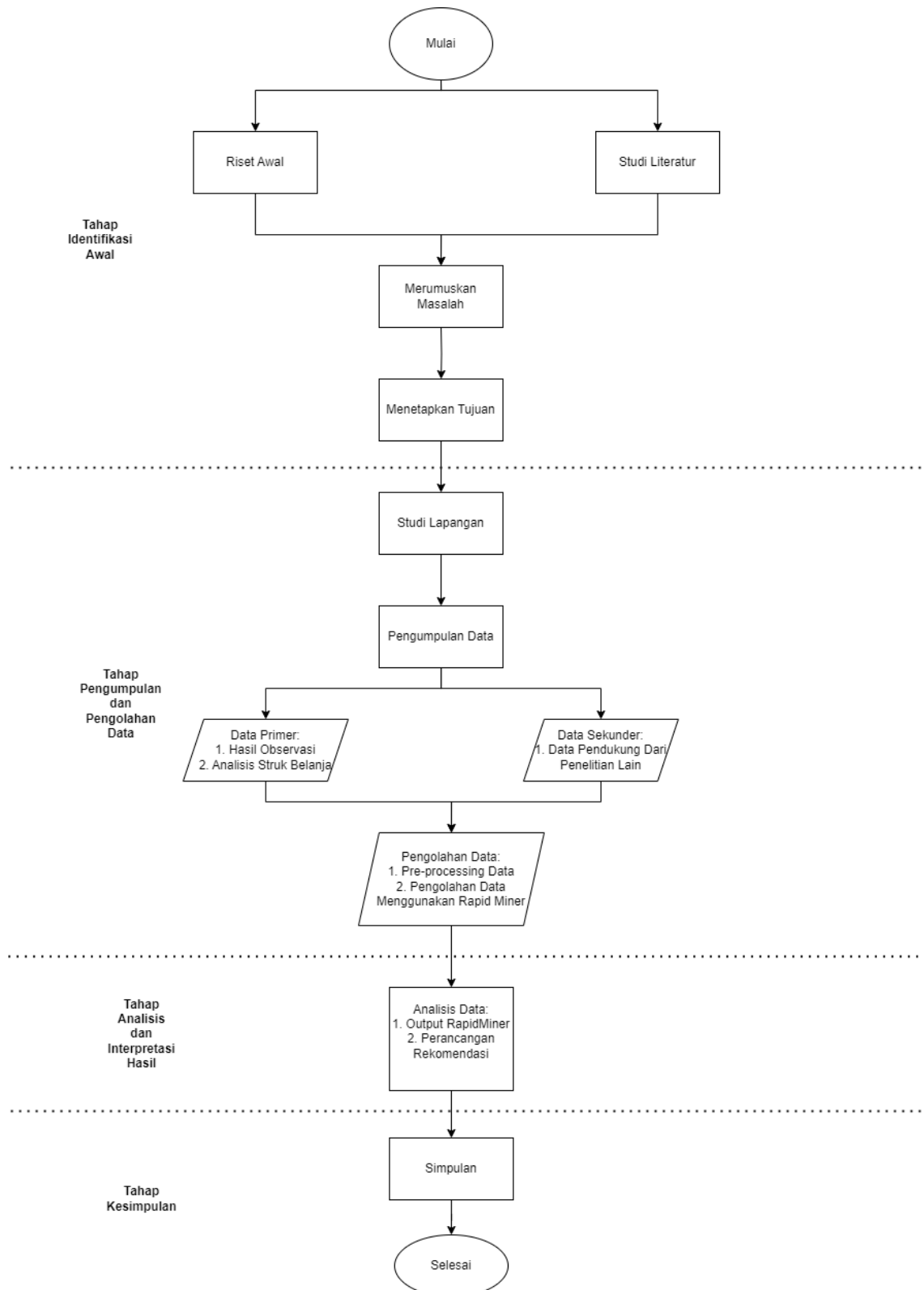
Toko X merupakan salah satu dari retail yang terletak di Kota Yogyakarta. Toko ini menjual berbagai produk bagi masyarakat dan turis karena letaknya yang dekat dengan Stasiun Tugu. Kemudahan akses, buka 24 jam, banyaknya promosi, dan adanya *platform e-commerce* memberikan pelanggan kemudahan berbelanja (Atmaja & Edison, 2022). Akan tetapi, terdapat permasalahan terkait dengan produk yang jarang terjual atau kurang laku. Hal ini karena terdapat pesaing sejenis dari swalayan sejenis yang berada di sekitar lokasi tersebut sehingga diperlukan strategi *marketing* yang lebih signifikan untuk menarik pelanggan (Mulyani, 2021). Dengan strategi *marketing* yang baik memungkinkan Toko X membantu memperkenalkan produk yang jarang terjual kepada calon pembeli. Selain itu, *marketing* yang menarik mampu menjadi pembeda yang mana mampu membantu konsumen untuk lebih memilih berbelanja pada Toko X.

Untuk menentukan strategi *marketing* yang tepat, diperlukan pengetahuan mengenai hubungan asosiatif antara beberapa departemen yang tersedia di Toko X. Hal tersebut

dikarenakan dengan mengetahui hubungan asosiatif antara beberapa departemen yang ada di Toko X mampu membantu dalam mengelompokkan item secara bersama-sama yang mana nantinya dihasilkan promosi yang lebih efektif, seperti optimalisasi tata letak toko serta promo atau diskon pada produk tertentu. Pada toko ini, proses transaksi mengadopsi teknologi *barcode* di mesin pencatat yang mana melalui teknologi ini, retail dapat menggabungkan data transaksi ke dalam sebuah basis data transaksi yang mencatat rinci setiap informasi, termasuk tanggal transaksi dan *item* yang dibeli oleh pelanggan. Istilah yang digunakan untuk menggambarkan informasi ini adalah *basket data*, dan studinya dikenal sebagai *Market Basket Analysis* (MBA). Pada konteks penelitian ini, peneliti akan menerapkan metode *Association-Rule Market Basket Analysis* (AR-MBA) dengan tujuan penelitian yaitu mengenali hubungan asosiatif antar *item* dalam *dataset* transaksi besar yang tersimpan dalam *database* Toko X serta merancang solusi dari permasalahan penjualan *item* yang ada di Toko X dari *output* olahan data AR-MBA. Metode ini digunakan dengan alasan untuk membantu Toko X dalam menentukan kedekatan departemen item berdasarkan seringnya departemen tersebut dibeli bersamaan, yang mana nantinya mampu membantu menghasilkan rekomendasi yang dapat meningkatkan penjualan di toko tersebut. Proses ini menggunakan RapidMiner sebagai alat bantu. Jika hasil aturan asosiasi ini diintegrasikan ke dalam *database* transaksi, maka akan dihasilkan dampak positif yang signifikan dalam merancang strategi pemasaran. Hubungan yang dihasilkan berupa frekuensi *itemsets* yang sering dibeli secara bersamaan dapat mengakomodasi strategi *marketing* yang tepat untuk toko ritel X (Dzulkarnaen, 2020). Selain itu, kelebihan lain *market basket analysis* untuk retail adalah mampu memberikan *knowledge* dalam menghasilkan keberhasilan promosi dan penjualan sehingga ROI dapat kembali melalui perubahan *layout* toko, poster dan kupon untuk meningkatkan penjualan dan menghabiskan produk dalam *inventory* (Kalijaga & Putra, 2021).

2. Metode

Pada studi ini, dilakukan pengamatan secara langsung di retail Toko X. Pengamatan ini menghasilkan rumusan masalah. Kemudian, pengumpulan data transaksi pelanggan dilakukan dan diakumulasi. Akumulasi data transaksi diperoleh dari 50 data transaksi pelanggan dengan ketentuan dalam satu struk terdapat minimal dua produk dari departemen yang berbeda. Selanjutnya, data direkap dengan Excel dan diolah dengan RapidMiner untuk menemukan hubungan asosiatif antar *item* menggunakan metode *Association Rule-Market Basket Analysis* (AR-MBA) dengan mengimplementasikan algoritma *FP-Growth* dalam konsep *Decision Tree*. *FP-Growth* merupakan algoritma yang digunakan untuk menemukan *itemsets* yang paling sering muncul menggunakan *association rules*. *Association Rule* merupakan salah satu teknik *data mining* untuk mengidentifikasi aturan asosiatif yang membantu mengidentifikasi atribut yang muncul bersamaan (Pramuditya et al., 2020), sedangkan *Market Basket Analysis* (MBA) adalah metode yang berguna untuk menganalisis *customer behavior* menggunakan data *itemsets* yang paling sering terbeli (Qoni'ah & Priandika, 2020).



Gambar 1 Alur Penelitian

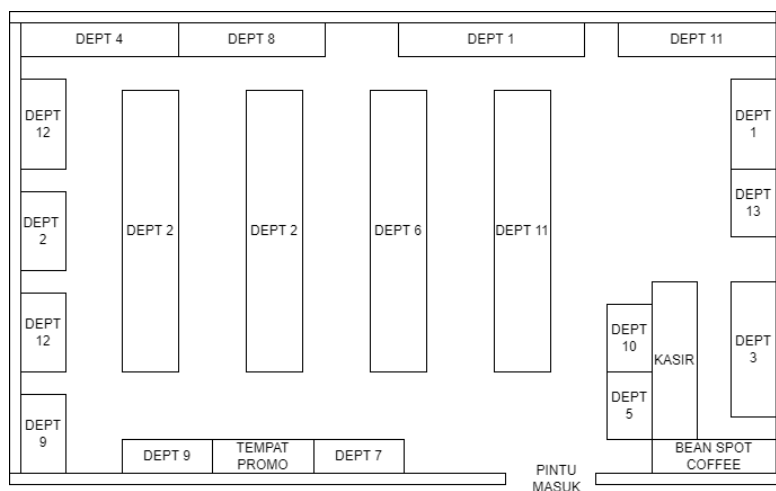
3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini dilaksanakan di toko retail Toko X menggunakan 50 data transaksi. Data diolah menggunakan nilai minimum *support* sebesar 10% dan minimum *confidence* sebesar 65%. *Support* digunakan untuk menunjukkan ukuran seberapa besar peluang banyaknya

transaksi yang memuat *items* secara bersamaan dari keseluruhan total transaksi. *Confidence* digunakan untuk menunjukkan ukuran seberapa besar asosiasi antar 2 *item* yang diminta secara bersamaan dari permintaan yang memuat salah satu *item* tersebut (Munanda & Monalisa, 2021). Penggunaan *minimum support* 10% dan *minimum confidence* sebesar 65% didasarkan pada jumlah *rules* yang akan terbentuk pada RapidMiner. Proses *trial and error* digunakan untuk menentukan nilai kedua parameter tersebut. Apabila *minimum support* yang digunakan kurang dari 10% dan *minimum confidence* yang digunakan kurang dari 65%, *rules* yang terbentuk akan terlalu banyak dan jangkauan pasangan produk yang terbeli secara bersamaan akan terlalu luas sehingga strategi *marketing* menjadi kurang efektif atau tidak tepat sasaran. Sedangkan, jika *minimum support* lebih dari 10% dan *minimum confidence* lebih dari 65%, *rules* yang terbentuk terlalu sedikit sehingga strategi *marketing* dari pasangan produk yang dibeli secara bersamaan tidak dapat menjangkau penjualan produk yang kurang laku. Dengan menentukan nilai *minimum support* dan *minimum confidence* yang tepat, pola pembelian yang valid dan kuat dapat ditemukan sehingga membantu pengambilan keputusan yang tepat mengenai penjualan dan promosi produk (Hidayat *et al.*, 2019).

a. Kondisi Toko X

Toko X memiliki permasalahan terkait produk yang jarang terbeli atau kurang laku. Hal ini karena *layout item* yang kurang sesuai. Toko X juga mengalami permasalahan pada katalog promosi dan *voucher*. Maka dari itu, metode AR-MBA digunakan untuk menemukan solusi dari permasalahan tersebut.



Gambar 2 *Layout* Awalan

Berikut merupakan keterangan departemen dari *layout* di atas:

Tabel 1 Keterangan Departemen

Nama Departemen	Keterangan
DEPT 1	Perlengkapan bayi dan ibu hamil
DEPT 2	<i>Snack</i>
DEPT 3	Rokok dan <i>lighter</i>
DEPT 4	Minuman dan <i>jelly</i>
DEPT 5	Permen
DEPT 6	Alat mandi, wajah, <i>bodycare</i>
DEPT 7	Air mineral

DEPT 8	Susu
DEPT 9	<i>Ice-cream</i>
DEPT 10	Kartu perdana
DEPT 11	Alat rumah tangga
DEPT 12	Bahan makanan
DEPT 13	Obat-obatan

b. Analisis Association Rule-Market Basket Analysis

1. Transformasi Data

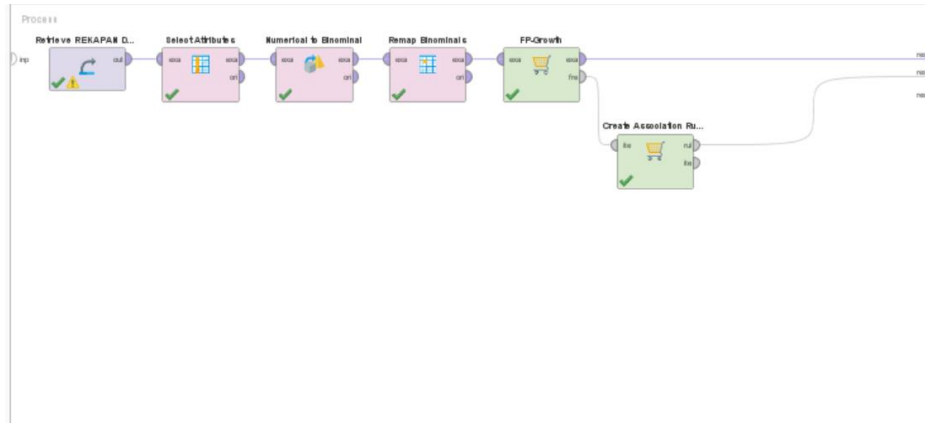
Berikut merupakan input transformasi data AR-MBA yang akan diproses menggunakan RapidMiner:

Transaksi	DEPT 1	DEPT 2	DEPT 3	DEPT 4	DEPT 5	DEPT 6	DEPT 7	DEPT 8	DEPT 9	DEPT 10	DEPT 11	DEPT 12	DEPT 13
1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
4	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
5	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
6	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
7	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
8	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
9	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
11	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
13	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
14	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
17	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
20	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0
21	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
22	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0
23	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
26	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
27	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
30	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
31	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1
32	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
33	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
34	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0

Gambar 3 Transformasi Data

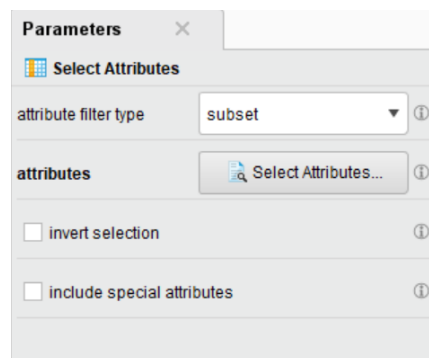
Transformasi data menampilkan pergantian tiap departemen item menjadi angka biner, yaitu 0 atau 1, 0 berarti tidak ada transaksi pada suatu departemen dan 1 berarti ada transaksi dalam suatu departemen (Junaidi, 2019).

2. Design Process



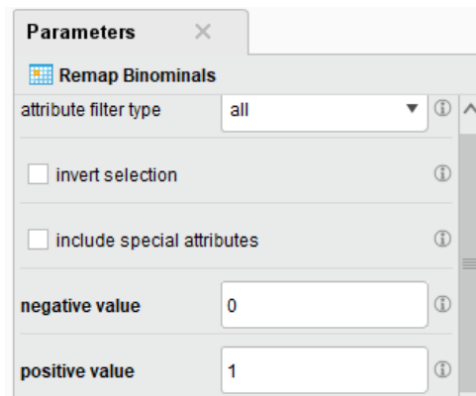
Gambar 4 Design Process

Gambar di atas merupakan tampilan proses dengan menggunakan beberapa operators, yaitu *drag Retrieve Rekapam Data Struk* yang telah melalui *pre-processing*, *Select Attributes* dengan *attribute filter type* diubah menjadi *subset* yang merupakan kumpulan himpunan suatu data transformasi yang dibuat untuk menentukan frekuensi *itemset* yang sering muncul.



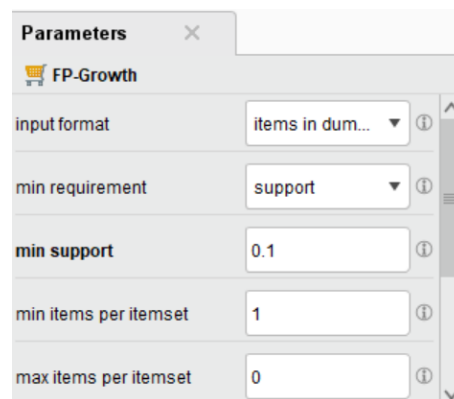
Gambar 5 Select Attributes

Selanjutnya, operators *Numerical to Binominal* dan *Remap Binominal*. Pada operators *Remap Binominal*, *negative value* diubah menjadi angka 0 dan *positive value* diubah menjadi angka 1.



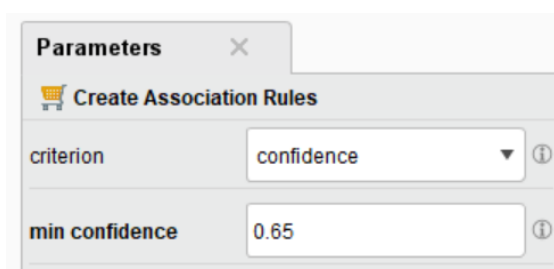
Gambar 6 Remap Binominals

Kemudian, dengan *operators* FP-Growth mengubah *parameters* minimal *support* menjadi 0,1, artinya peluang banyaknya transaksi yang memuat *itemsets* yang diminta secara bersamaan dari keseluruhan transaksi adalah 10%.



Gambar 7 Minimal Support

Pada *operators* Create Association Rules menggunakan *parameters* minimal confidence sebesar 0,65, artinya nilai minimal validnya suatu *itemsets* bergabung adalah 65%.



Gambar 8 Minimal Confidence

3. Analisis Output

Setelah dilakukan pemrosesan data menggunakan ARMBBA dengan *minimal support* sebesar 10% atau 0,1, berikut merupakan *output* RapidMiner dari penelitian ini:

No.	Premises	Conclusion	Support	Confidence	Lift
1	DEPT 8	DEPT 2	0.160	0.667	1.282
2	DEPT 8	DEPT 7	0.160	0.667	1.449
3	DEPT 2, DEPT 6	DEPT 7	0.120	0.667	1.449
4	DEPT 7, DEPT 6	DEPT 2	0.120	0.667	1.282
5	DEPT 6, DEPT 8	DEPT 7	0.100	1	2.174

Gambar 9 Output ARMBARapid Miner

Berdasarkan *output rules* di atas, berikut merupakan analisis *rules* yang terbentuk:

- 1) Jika dept. 8 (susu) terbeli maka memiliki kepastian 66,7% (nilai *confidence*) untuk membeli dept. 2 (*snack*). Aturan ini signifikan karena mewakili 16% (nilai *support*) dari semua transaksi. *Lift ratio* >1.
- 2) Jika dept. 8 (susu) terbeli maka memiliki kepastian 66,7% (nilai *confidence*) untuk membeli dept. 7 (air mineral). Aturan ini signifikan karena mewakili 16% (nilai *support*) dari semua transaksi. *Lift ratio* >1.
- 3) Jika dept. 2 (*snack*) dan dept. 6 (peralatan mandi dan wajah) terbeli maka memiliki kepastian 66,7% (nilai *confidence*) untuk membeli dept. 7 (air mineral). Aturan ini signifikan karena mewakili 12% (nilai *support*) dari semua transaksi. *Lift ratio* >1.
- 4) Jika dept. 7 (air mineral) dan dept. 6 (peralatan mandi dan wajah) terbeli maka memiliki kepastian 66,7% (nilai *confidence*) untuk membeli dept. 2 (*snack*). Aturan ini signifikan karena mewakili 12% (nilai *support*) dari semua transaksi. *Lift ratio* >1.
- 5) Jika dept. 6 (peralatan mandi dan wajah) dan dept. 8 (susu) terbeli maka memiliki kemungkinan 100% (nilai *confidence*) untuk membeli dept. 7 (air mineral). Aturan ini signifikan karena mewakili 10% (nilai *support*) dari semua transaksi. *Lift ratio* >1.

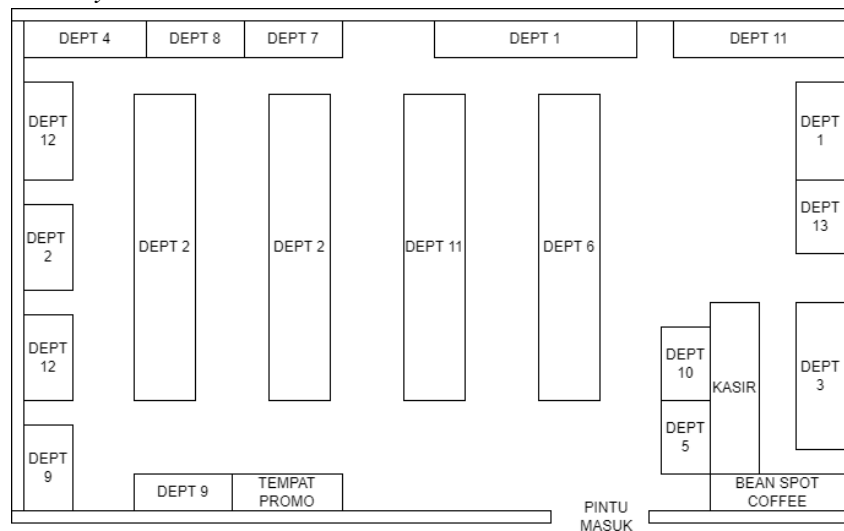
Output dari *rules* di atas menunjukkan bahwasannya terdapat departemen yang jarang terbeli secara berjalan yaitu Dept 1, Dept 3, Dept 4, Dept 5, Dept 9, Dept 10, Dept 11, Dept 12, dan DEPT 13. Penyebab dari jarang terbelinya produk secara bersamaan kemungkinan disebabkan oleh kebutuhan dari konsumen yang berbeda-beda, penempatan beberapa departemen produk yang kurang strategis atau terlihat oleh konsumen, produk pada departemen yang termasuk ke dalam kategori yang sangat berbeda, serta pengaruh adanya tren selama waktu tertentu.

c. Rekomendasi yang diberikan

Berdasarkan *output rules* yang didapat, dapat diberikan rekomendasi *layout*, poster, dan kupon belanja. Rekomendasi *layout* diperlukan karena dapat membantu dalam mengoptimalkan penggunaan ruang rak di toko menggunakan pertimbangan alokasi produk ke rak dan dimensi segmen rak sehingga dapat meningkatkan efisiensi dan profitabilitas toko (Hübner *et al.*, 2021). Selain itu, rekomendasi *layout* toko diperlukan karena *layout* yang tepat dapat mempengaruhi daya tarik konsumen untuk membeli produk. Penggunaan

algoritma *FP-Growth* dapat membantu dalam menyesuaikan *layout* toko berdasarkan tingkat frekuensi produk yang dicari oleh pelanggan sehingga lebih mudah menemukannya (Nasyuha *et al.*, 2021). Sementara itu, penawaran promosi dengan batas waktu (*time-limited promotions*) seperti kupon dan poster direkomendasikan karena dapat mempercepat keputusan pembelian dan mendorong pembeli untuk mengurangi pencarian informasi penawaran promosi yang lebih baik (Aggarwal & Vaidyanathan, 2015).

a. Penentuan *Layout*



Gambar 10 *Layout* Usulan

Usulan perubahan *layout* ini dilakukan berdasarkan analisis *output rules* yang terbentuk di RapidMiner. Mendekatkan rak departemen yang sering terbeli bersamaan. Berdasarkan hal tersebut, departemen 7 (air mineral) diletakkan berdekatan dengan departemen 8 (susu). Hal ini dilakukan untuk mendorong konsumen dan memudahkannya menjangkau produk tersebut. Selain itu, perubahan *layout* dilakukan terhadap departemen yang jarang terjual dengan mendekatkan letaknya ke departemen yang sering terjual, yaitu dengan menukar penempatan departemen 6 (alat mandi, wajah, *bodycare*) dengan departemen 11 (alat rumah tangga). Hal ini dilakukan untuk memberikan *opportunity* kepada konsumen untuk mengeksplorasi dan mempertimbangkan produk yang sebelumnya tidak terpikirkan.

b. Usulan Poster



Gambar 11 Usulan Poster

Bundling produk di atas dibuat berdasarkan *output* dari *rules* yang didapat, yaitu pada departemen 8 (produk susu) dan departemen 2 (*snack*) dicontohkan dengan *bundling* antara ultramilk dan sari roti. Selanjutnya departemen 8 (susu) dan departemen 7 (air mineral) dicontohkan dengan *bundling* antara ades dan cimory. Poster diskon dapat menarik pembeli dan meningkatkan penjualan karena diskon *bundling* dapat mendorong keinginan pelanggan melakukan transaksi produk yang sedang promo sehingga meningkatkan kepuasan pembelian, diskon *bundling* juga memasang produk yang memiliki hubungan erat sehingga pembeli akan terdorong membeli lebih banyak *item* bersamaan dengan harga diskon daripada *item* yang mereka rencanakan sebelumnya.

c. Usulan Kupon Belanja



Gambar 12 Kupon Belanja

Tahapan ilmiah dalam desain kupon belanja di atas diterapkan meliputi analisis teoritis strategi penawaran dominan berdasarkan hasil analisis *rules* yang terbentuk, yaitu pada departemen 6 (peralatan mandi dan wajah) sering terbeli bersamaan dengan *item* lain. Oleh karena itu, jika dilakukan pemotongan harga pada departemen 6, dapat meningkatkan pembelian *item* lain yang sering terbeli bersamaan dengannya, seperti departemen 2 (*snack*), departemen 7 (air mineral), departemen 8 (susu). Hal ini akan mendorong pelanggan membeli lebih banyak *item* sehingga dapat meningkatkan penjualan. Selain itu, tahapan ilmiah mencakup pemodelan desain kupon dan pengembangan fungsi kerugian agar pendapatan optimal (Shen *et al.*, 2020).

4. Simpulan

Berdasarkan pengolahan data dan analisis 50 transaksi di Toko X yang telah berhasil diidentifikasi dengan analisis AR-MBA, terdapat lima *rules* yang terbentuk. Beberapa parameter yang menentukan jumlah *rules* yang terbentuk adalah minimal *support* 0,1, min *confidence* 0,65, dan *lift ratio* lebih dari 1. Lima *rules* yang terbentuk telah valid dan memenuhi kriteria, diketahui bahwa produk yang sering terbeli terdapat pada departemen 6 dan 8 dengan departemen 7.

Rekomendasi meliputi perubahan *layout* meletakkan departemen yang jarang terbeli ke departemen yang sering terbeli agar pembeli dapat turut mempertimbangkan pembelian selain dari departemen yang sering terbeli sehingga dapat meningkatkan penjualan. Kedua, penawaran diskon *bundling*. Diskon *bundling* produk akan mendorong pelanggan membeli lebih banyak produk dan meningkatkan rasa kepuasan pelanggan berbelanja di Toko X. Ketiga, pemberian kupon diskon dengan syarat tertentu. Strategi *marketing* ini akan mendorong pelanggan sering mengunjungi Toko X untuk berbelanja dengan potongan harga di periode tertentu sehingga dapat meningkatkan penjualan.

Rekomendasi untuk penelitian selanjutnya dapat menggunakan data transaksi struk dengan jumlah yang lebih besar dalam kurun waktu lebih panjang sehingga *output* yang dihasilkan dalam menemukan frekuensi barang yang terbeli secara bersamaan lebih valid. Selain itu, penelitian selanjutnya dapat menambahkan strategi *marketing* lain untuk meningkatkan profitabilitas toko.

Daftar Pustaka

- Aggarwal, P., & Vaidyanathan, R. (2015). Use It Or Lose It: Time-Limited Promotions And Purchase Behavior. In H. E. Spotts (Ed.), *Proceedings of the 2002 Academy of Marketing Science (AMS) Annual Conference* (p. 2). Springer International Publishing.
- Atmaja, D. R., & Edison, A. (2022). ANTESEDEN PEMBELIAN IMPULSIF DI PASAR RITEL MODERN : PEMBELAJARAN DARI INDONESIA. *JURNAL LENTERA BISNIS*, 11(2), 119. <https://doi.org/10.34127/jrlab.v11i2.553>
- Hidayat, A. A., Rahman, A., Wangi, R. M., Abidin, R. J., Fuadi, R. S., & Budiawan, W. (2019). Implementation and comparison analysis of apriori and fp-growth algorithm performance to determine market basket analysis in Breiliant shop. *Journal of Physics: Conference Series*, 1402(7). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1402/7/077031>
- Hübner, A., Düsterhöft, T., & Ostermeier, M. (2021). Shelf space dimensioning and product allocation in retail stores. *European Journal of Operational Research*, 292(1), 155–171. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.10.030>
- Junaidi, A. (2019). Implementasi Algoritma Apriori dan FP-Growth Untuk Menentukan Persediaan Barang. *JURNAL SISFOKOM (SISTEM INFORMASI DAN KOMPUTER)*, 8.
- Mulyani, A. T. (2021). PENGARUH LINGKUNGAN TOKO, PROMOSI PENJUALAN, DAN LOKASI TERHADAP MINAT BELI KOSUMEN DI UD. SUMBER REJEKI. *Jurnal Performa: Jurnal Manajemen Dan Start-up Bisnis*, 5(4), 320–329. <https://doi.org/10.37715/jp.v5i4.1787>
- Nasyuha, A. H., Jama, J., Abdullah, R., Syahra, Y., Azhar, Z., Hutagalung, J., & Hasugian, B. S. (2021). Frequent pattern growth algorithm for maximizing display items. *Telkomnika (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, 19(2), 390–396. <https://doi.org/10.12928/TELKOMNIKA.v19i2.16192>
- Shen, W., Tang, P., Wang, X., Xu, Y., Yang ByteDance, X., & Yang, X. (2020). Learning to Design Coupons in Online Advertising Markets. In *IFAAMAS* (Vol. 9). www.ifaamas.org
- Artsitella et al. (2021). Penerapan Association Rules - Market Basket Analysis untuk Mencari Frequent Itemset dengan Algoritma FP-Growth. *Jurnal AL-AZHAR*, 61-69.
- Dzulkarnaen, R. (2020). Perancangan Aplikasi Data Mining Market Basket Analysis pada Apotek Permata dengan Metode Hybrid-Dimension Association Rules. *JOINT (Journal of Information Technology)*, 67-73.

- Kalijaga, M. A., & Putra, B. S. (2021). Penerapan Analytical Hierarchy Process, Clustering, Dan Ar-Mba Sebagai Solusi Strategi Pemasaran Pada Toko Swalayan X. *Jurnal Studi Inovasi*, 33-39.
- Munanda, E., & Monalisa, S. (2021). PENERAPAN ALGORITMA FP-GROWTH PADA DATA TRANSAKSI PENJUALAN UNTUK PENENTUAN TATALETAK BARANG. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Dan Manajemen Sistem Informasi*, 173–184.
- Pramuditya et al. (2020). ANALISIS STRATEGI PEMASARAN MENGGUNAKAN METODE ASSOCIATION RULE. *IENACO* 38.
- Qoni'ah, I., & Priandika, A. T. (2020). Analisis Market Basket Untuk Menentukan Assosiasi Rule dengan Algoritma Apriori (Studi Kasus: TB. Menara). *Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi (JTSI)*, 26-33.
- Rizqi, Z. U. (2022). Implementasi Association Rule-Market Basket Analysis dalam Menentukan Strategi Product Bundling pada Usaha Retail. *Performa: Media Ilmiah Teknik Industri*.

Perencanaan Strategi Pemasaran pada *Minimarket XYZ* dengan metode AR-MBA

Firza Faturrahman^{*1)}, Prita Nurkhalisa Maradjabessy²⁾, dan Muhammad Idham Baihaqi³⁾

^{1,2,3)}Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia, Sleman, 55584,
Indonesia

Email: 21522338@students.uii.ac.id, 21522277@students.uii.ac.id, 25222222@students.uii.ac.id

ABSTRAK

Minimarket XYZ membutuhkan strategi pemasaran yang tepat karena banyaknya pelanggan yang datang dan membeli berbagai macam produk. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat keseluruhan penjualan produk dan menganalisis pola pembelian barang oleh *customer*, sehingga dapat dibuat suatu strategi pemasaran yang baik. Oleh karena itu, dirancang strategi untuk menarik pelanggan dan memenangkan pasar. Strategi pemasaran yang tepat untuk mengetahui perilaku pelanggan mengenai pembelian produk yang sering terbeli serta menganalisis pola pembelian pelanggan, dapat menggunakan metode *Association Rule* dengan algoritma *FP-Growth*. Berdasarkan pengolahan data transaksi pelanggan dari 50 struk belanja didapatkan 12 *rule* yang terbentuk, dan terdapat 9 *rule* yang memiliki *lift ratio* > 1 yang berarti bahwa *rule* tersebut valid serta memiliki hubungan. Berdasarkan hasil pengolahan data tersebut dapat dirumuskan rekomendasi *bundling produk* berdasarkan *rule* yang sudah terbentuk.

Kata kunci: *Association Rule, Data Mining, Market Basket Analysis, Retail, Product Bundling*

1. Pendahuluan

Pertumbuhan perekonomian masyarakat diiringi dengan pesatnya pertumbuhan bisnis retail, sehingga semakin berkembangnya pasar retail memberikan banyaknya pilihan bagi konsumen dalam menentukan produk yang akan dibeli, tempat tujuan berbelanja, serta produk di tempat yang memiliki kualitas dan harga yang sesuai dengan keinginan mereka. Salah satu jenis pasar modern (retail) yang sedang berkembang pesat adalah yang menawarkan kemudahan akses lokasi toko atau gerai yang dekat dengan konsumen serta mengutamakan kepraktisan dan kecepatan dalam berbelanja (Elisa, 2018). Retail merupakan suatu bisnis skala kecil dengan bentuk pemasaran meliputi penjualan barang secara langsung ke konsumen akhir. Jumlah berbagai perusahaan retail di Indonesia yang cukup banyak membuat persaingan untuk mendapatkan konsumen perlu menjadi pertimbangan penting demi keberlangsungan bisnis dan keberadaan toko yang mendatangkan keuntungan (Kalijaga, 2021).

Minimarket merupakan usaha dengan prospek bisnis yang menguntungkan saat ini, *minimarket* adalah tempat kecil yang menjual barang-barang bervariasi dan lengkap seperti yang ada di dalam pasar, tetapi dalam ukuran yang lebih kecil. *Minimarket* dapat dianggap sebagai versi modern dari toko kelontong atau yang menjual segala macam barang dan makanan. Perbedaannya adalah telah menggunakan konsep sistem swalayan di mana pembeli mengambil sendiri barang yang dibutuhkan dari rak-rak *minimarket* dan membayarnya di kasir. Potensi bisnis *minimarket* Indonesia pada tahun 2017 diperkirakan akan lebih baik dibandingkan tahun sebelumnya (Elisa, 2018).

Saat ini jumlah *minimarket* terus berkembang, sehingga para pengelola *minimarket* dituntut untuk menerapkan strategi pemasaran yang lebih efektif. Oleh karena itu, diperlukan teknik *data mining* untuk mengelompokkan data produk berdasarkan kecenderungannya kemunculan yang bersamaan dalam suatu transaksi belanja. *Data mining* dapat diartikan juga sebagai proses untuk mendapatkan informasi berguna dari gudang basis data yang besar. *Data mining* juga dapat diartikan sebagai proses ekstraksi informasi baru dari data berskala besar dalam membantu

proses pengambilan keputusan (Tri et al., 2020). *Data mining* digunakan untuk mengekstraksi sebuah informasi penting yang tersembunyi dari *dataset* yang besar (Winarti et al., 2021). Pengolahan data pada penelitian ini memanfaatkan *association rule*.

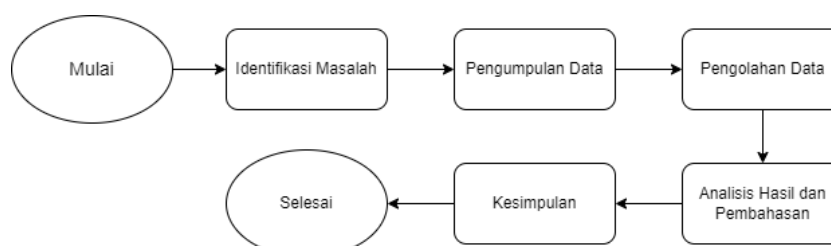
Association rule adalah prosedur yang mencari hubungan atau relasi antar satu item dengan item yang lainnya (Dzulkarnaen & Kom, 2020). Salah satu penerapan dari *association rule* adalah *market basket analysis* (MBA). MBA merupakan salah satu dari metode *data mining* yang digunakan untuk menganalisa *item* atau barang yang ada pada satu atau lebih keranjang belanja konsumen pada satu waktu (Binti Umayaha & Fachrul Kurniawana, 2019). Teknik ini berguna untuk menemukan *knowledge* dari data yang ada, yang kemudian dapat digunakan untuk meningkatkan keuntungan atau menentukan strategi pemasaran.

Salah satu *minimarket* yaitu *minimarket XYZ*, *minimarket XYZ* adalah salah satu gerai retail dengan sistem swalayan. Banyaknya *customer* yang datang dan membeli berbagai macam barang membuat pihak *minimarket XYZ* harus menerapkan strategi pemasaran yang efektif dengan menggunakan *Market Basket Analysis*.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Zakka Ugih Rizqi (2019), dengan menggunakan 58 data transaksi pelanggan. Metode yang digunakan yaitu *Association Rule-Market Basket Analysis*. Dengan menggunakan nilai minimum *support* yaitu 30% dan nilai minimum *confidence* 60% dari 6 rule yang diperoleh, hanya 1 rule yang dapat dikatakan valid, dengan tingkat kepercayaan 85% dan didukung oleh 39% dari seluruh data. *Gap* penelitian yang diisi oleh penelitian ini adalah penerapan metode *Association Rule* dengan algoritma *FP-Growth* yang lebih efektif dalam konteks data terbatas, sehingga tetap mampu menghasilkan pola pembelian yang signifikan dan memberikan rekomendasi strategi pemasaran yang lebih akurat. Hal ini menegaskan pentingnya penelitian ini dalam membantu *minimarket XYZ* merumuskan strategi pemasaran yang tepat berdasarkan analisis data transaksi pelanggan yang lebih komprehensif.

2. Metode

Tujuan utama penelitian ini untuk mengetahui pola pembelian produk oleh pelanggan. Tahapan pertama dalam penelitian yaitu observasi langsung pada lokasi penelitian, yaitu *minimarket XYZ*. Observasi tersebut digunakan untuk merumuskan masalah yang akan dianalisis. Setelah itu, peneliti mengumpulkan data dari hasil transaksi para pelanggan di *minimarket XYZ*. Data yang telah terkumpul kemudian direkap dan diolah untuk menemukan keterkaitan antar produk yang dibeli menggunakan metode *Association Rule – Market Basket Analysis*. *Association Rule* adalah teknik *Data Mining* yang berguna untuk menemukan suatu korelasi atau pola yang terpenting/menarik dari sekumpulan data besar (Henando, 2019). Sedangkan, *Market Basket Analysis* (MBA) adalah suatu metode analisa atas perilaku konsumen secara spesifik dari suatu golongan atau kelompok tertentu (Sharif, 2019). Algoritma yang diimplementasikan adalah algoritma *FP-growth*, yang merupakan salah satu algoritma pada *association rule* untuk menentukan himpunan data yang paling sering muncul (*frequent itemset*) dalam sebuah kumpulan data (Fitria et al., 2017). Tahapan pada penelitian ini meliputi:



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Berdasarkan Gambar 1 diketahui bahwa tahapan awal penelitian yaitu mengidentifikasi masalah yang meliputi perumusan masalah, batasan masalah, dan tujuan penelitian. Selanjutnya melakukan pengumpulan data, pada tahap ini data yang dikumpulkan merupakan data transaksi belanja para pelanggan *minimarket XYZ* yang memiliki jenis produk yang berbeda. Setelah mengumpulkan data transaksi maka akan dilakukan pengolahan data yang mencakup langkah-langkah untuk mempersiapkan data sebelum analisis, termasuk *data selection*, *preprocessing data*, *transformasi data*, *data mining*, dan *interpretation/evaluation*. Selanjutnya melakukan analisis hasil dan pembahasan, analisis hasil dilakukan dengan menerapkan model AR-MBA pada data yang telah diolah untuk mengidentifikasi pola dan tren. Pembahasan hasil menghubungkan temuan dengan teori atau studi terdahulu dan menjelaskan makna serta implikasi hasil tersebut dalam konteks penelitian. Kemudian memberikan kesimpulan dari analisis dan memberikan jawaban terhadap masalah yang diteliti.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengumpulan Data

Peneliti mendapatkan 90 transaksi pembelian yang kemudian dilakukan *data selection* atau pemilihan data, sehingga mendapat 50 transaksi pembelian yang valid untuk digunakan pengolahan data berikut.

Tabel 1. Hasil Rekapitulasi Data

Transaksi	Jenis Barang
1.	pocari, nextar
2.	aqua, nextar
3.	javana, walens
4.	gudang garam, super bubur
5.	nu green tea, spixmi
6.	vaseline, nivea, marlboro
7.	sari roti, onigiri
8.	lafonte, boncabe, milo, monde, tkn crispy, belfoods, mujigae, crystalline
9.	pepsodent, casabella, pisau cukur, gatsby, sabun harmony
10.	you-c1000, kiranti, indomie, twistko, tic tac
11.	semangka, ultramilk, so nice, sup krim, hydrococo
12.	milkita, nutrijel, strepsils, delfi maltitos
13.	yogurt, pocari, semangka,
14.	boncabe, golda coffe, sajiku
15.	chiki, buavita
16.	vaseline, marlboro, nivea
17.	biore, soklin, pepsodent, pantene, minyak sunco
18.	charm, japota, cleo
19.	paseo, milo, greenfields, yakult, haan gula, este emje, stimuno, eyevit, mask
20.	nestle, curvit, aice, gudang garam, delfi, chitato, onigiri
21.	yogurt, melon, buah naga, chitato, saniter
22.	tissue, push pop candy
23.	aqua, sosro, walls
24.	sampoerna, buavita
25.	melon, amplop
26.	jambu, lemon, pear, apel, ultramilk, vidoran, frisian flag, coca cola
27.	daia, tissue, golda coffe, mujigae, selection
28.	good day, sari roti

Transaksi	Jenis Barang
29.	hpytos, aice, gold ribbon, semangka, nanas
30.	posh, cmp herbal
31.	pepsodent, eskulin, scotts, big babol, hansaplast
32.	selection, garnier, charm
33.	tic tac, go potato, wafer selamat, ultramilk, momogi
34.	minyak barco, telur, kraft cedar
35.	herbadrink, frisian flag
36.	pucuk, cimory, tic tac
37.	aqua, cimory, fiesta, top
38.	gatsby, soklin, aulia, swallow, casablanca, indomie, tango, ultramilk, boncabe, sari roti
39.	coca cola, jambu, lemon, pear, apel, ultramilk, vidoran, frisian flag
40.	nescafe, pepaya, semangka, you-c1000, amunizer, oronamin, pocari, cimory, nutrijel, kino, ultra kacang ijo, pop mie, sari roti
41.	sari roti, frisian flag, morin, maitos
42.	kripik balado, sedap, glico, pantene, head & shoulders, sunsilk
43.	clas mild, me-o cat
44.	adem sari, you-c1000, kenmaster, silverqueen
45.	selection, head & shoulders, silverqueen
46.	laurier, pepaya
47.	nestle, glico
48.	kripik balado, teh gardoe, teh botol
49.	nestle, ponds, lux
50.	gatsby, soklin, aulia, swallow, casablanca, indomie, tango, ultramilk, boncabe, sari roti

Berdasarkan Tabel 1, peneliti membagi jenis produk ke dalam 10 departemen, di antaranya departemen minuman, departemen *snack*, departemen permen, departemen bumbu dapur dan makanan, departemen buah dan sayur, departemen peralatan kecantikan, departemen peralatan rumah tangga, departemen obat dan vitamin, departemen rokok, dan departemen sanitasi. Berikut informasi pembagian departemen dari hasil rekapitulasi transaksi pembelian.

Tabel 2. Informasi Pembagian Departemen

Departemen	Jenis Barang
Departemen 1 (Minuman)	aqua, pocari, javana, nu green tea, milo, crystalline, you-c1000, kiranti, ultramilk, hydrococo, yogurt, golda coffe, buavita, cleo, greenfields, yakult, este emje, abc kopi, nestle, sosro, frisian flag, coca cola, pucuk, cimory, nescafe, amunizer, oronamin, ultra kacang ijo, vidoran, good day, adem sari, teh gardoe, teh botol
Departemen 2 (<i>Snack</i>)	nextar, walens, spixmi, sari roti, tkn crispy, twistko, tic tac, so nice, delfi maltitos, chiki, japota, aice, chitato, walls, go potato, wafer selamat, momogi, top, tango, monde, gold ribbon, hpytos, kraft cedar, morin, maitos, glico, kripik balado, silverqueen
Departemen 3 (Permen)	milkita, strepsils, push pop candy, big babol
Departemen 4 (Bumbu dapur dan Makanan)	onigiri, lafonte, boncabe, belfoods, mujigae, indomie, sup krim, nutrijel, sajiku, minyak sunco, haan gula, delfi, rose brand, telur, minyak barco, fiesta, super bubur, pop mie, sedap, me-o cat
Departemen 5 (Buah dan Sayur)	semangka, melon, jambu, lemon, apel, pepaya, pear, nanas, buah naga,

Departemen	Jenis Barang
Departemen 6 (Peralatan Kecantikan)	vaseline, nivea, casabella, pisau cukur, gatsby, biore, selection, posh, garnier, aulia, casablanca, ponds
Departemen 7 (Peralatan Rumah Tangga)	pepsodent, sabun harmony, soklin, pantene, scotts, kino, eskulin, lux, sunsilk, head & shoulders, kenmaster, swallow, daia, amplop
Departemen 8 (Obat dan Vitamin)	stimuno, eyevit, curvit, cmp herbal, herbadrink, hansaplast
Departemen 9 (Rokok)	gudang garam, sampoerna, marlboro, clas mild
Departemen 10 (Sanitasi)	mask, paseo, tissue, charm, saniter, laurier

3.2 Pre-processing Data

Data yang sudah dibagi ditunjukkan oleh tabel 2, selanjutnya ditransformasi sesuai departemen yang ada, sehingga data tersebut dapat diolah dengan *software* RapidMiner. Data transformasi dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Data Transformasi

Transaksi	Dept 1	Dept 2	Dept 3	Dept 4	Dept 5	Dept 6	Dept 7	Dept 8	Dept 9	Dept 10
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
5	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
7	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
8	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
10	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0
11	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0
12	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
13	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
14	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
15	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
17	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0
18	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1
19	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1
20	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0
21	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1
22	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
23	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
24	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
25	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
26	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
27	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1
28	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
31	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0

Transaksi	Dept 1	Dept 2	Dept 3	Dept 4	Dept 5	Dept 6	Dept 7	Dept 8	Dept 9	Dept 10
32	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
33	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
34	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
35	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
36	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
37	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0
38	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0
39	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
40	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0
41	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
42	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0
43	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
44	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0
45	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0
46	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
47	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
48	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
49	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0
50	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0

3.3 Analisis Output

Hasil transformasi data akan digunakan untuk memodelkan AR-MBA dengan menggunakan *software* RapidMiner. Perangkat lunak ini menggunakan prinsip data mining untuk mengolah data dengan menggunakan kombinasi teknik statistik, dan basis data untuk mengekstrak pola dari kumpulan data yang sangat besar (Nandar Cundara et al., 2018). Algoritma *FP-Growth* adalah salah satu algoritma alternatif dalam metode AR-MBA untuk menentukan *frequent itemset* pada suatu *data set*.

Dengan menggunakan nilai minimum *support* sebesar 0,1 atau 10% dan nilai minimum *confidence* sebesar 0,5 atau 50% (semakin besar semakin akurat), maka diperoleh *output* sebagai berikut.

No.	Premises	Conclusion	Support	Confidence	LaPlace	Gain	p-s	Lift	Convicti...
1	DEPT 7	DEPT 1	0.120	0.500	0.903	-0.360	-0.034	0.781	0.720
2	DEPT 7	DEPT 2	0.120	0.500	0.903	-0.360	-0.019	0.862	0.840
3	DEPT 7	DEPT 4	0.120	0.500	0.903	-0.360	0.034	1.389	1.280
4	DEPT 7	DEPT 6	0.140	0.583	0.919	-0.340	0.087	2.652	1.872
5	DEPT 4	DEPT 1	0.220	0.611	0.897	-0.500	-0.010	0.955	0.926
6	DEPT 6	DEPT 7	0.140	0.636	0.934	-0.300	0.087	2.652	2.090
7	DEPT 5	DEPT 1	0.120	0.667	0.949	-0.240	0.005	1.042	1.080
8	DEPT 4	DEPT 2	0.240	0.667	0.912	-0.480	0.031	1.149	1.260
9	DEPT 2, DEPT 4	DEPT 1	0.160	0.667	0.935	-0.320	0.006	1.042	1.080
10	DEPT 1	DEPT 2	0.460	0.719	0.890	-0.820	0.089	1.239	1.493
11	DEPT 1, DEPT 4	DEPT 2	0.160	0.727	0.951	-0.280	0.032	1.254	1.540
12	DEPT 2	DEPT 1	0.460	0.793	0.924	-0.700	0.089	1.239	1.740

Gambar 2. Output RapidMiner

Gambar 2 menunjukkan bahwa terdapat 12 *rule* yang terbentuk. Tetapi, *rule* yang dikatakan valid sebanyak 9 *rule*. *Rule* yang valid ditandai dengan *rule* yang memiliki nilai *Lift Ratio* > 1. Pada hasil *output* RapidMiner *rule* yang dapat dikatakan valid yaitu pada *rule* 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10,

11, 12. Sehingga *knowledge* yang dihasilkan dapat diinterpretasikan ke dalam *bundling* produk, *bundling* produk ditentukan dengan mengelompokkan produk di departemen yang memiliki *rule* yang *valid*. Contoh pada *rule 12 bundling* produk yang dapat ditentukan yaitu produk chitato (departemen 2) dengan produk aqua (departemen 1) dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Contoh *Bundling* produk yang dapat diterapkan

Bundling produk berdasarkan aturan asosiasi hasil AR-MBA secara signifikan dapat meningkatkan keuntungan karena aturan-aturan valid yang diidentifikasi (dengan *lift ratio* > 1) menunjukkan adanya hubungan kuat antara produk-produk yang sering dibeli bersama. Penelitian oleh Irfan dan Suasana (2021) membuktikan bahwa strategi *bundling* produk memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap keputusan pembelian, menunjukkan efektivitasnya dalam meningkatkan penjualan. Dengan memanfaatkan pengetahuan hasil AR-MBA ini, *minimarket* XYZ dapat merancang *bundling* produk yang sesuai dengan pola pembelian pelanggan, sehingga meningkatkan peluang penjualan *bundling* tersebut. Hal ini tidak hanya meningkatkan volume penjualan tetapi juga dapat meningkatkan kepuasan pelanggan dengan menawarkan kombinasi produk yang relevan dan menarik, yang pada akhirnya berkontribusi pada peningkatan keuntungan *minimarket* secara keseluruhan.

4. Simpulan

Berdasarkan pengolahan dan analisis terhadap 50 data transaksi dengan metode AR-MBA dapat disimpulkan, dengan menggunakan minimum *support* yaitu 0,1 atau 10% dan nilai minimum *confidence* yaitu 0,5 atau 50% maka, diperoleh sebanyak 12 *rule*, diketahui kecenderungan asosiasi rendah, dikarenakan data yang digunakan tidak terlalu mendukung hubungan/keterkaitan antar item. Dari 12 *rule* yang terbentuk, terdapat *rule* yang tidak valid sebanyak 3 *rule* yaitu pada *rule 1*, *rule 2*, dan *rule 5* dapat dilihat berdasarkan nilai *lift ratio* pada masing-masing *rule* yaitu berada dibawah 1 atau *lift ratio* < 1. Oleh karena itu, solusi berdasarkan AR-MBA untuk meningkatkan penjualan maka disusulkan dengan cara *bundling* produk.

Daftar Pustaka

- Binti Umayaha, & Fachrul Kurniawana. (2019). *Analisa Perilaku Konsumen Melalui Data Transaksi Berbasis Pendekatan Market Basket Analysis*.
- Dzulkarnaen, R., & Kom, M. (2020). *Perancangan Aplikasi Data Mining Market Basket Analysis pada Apotek Permata dengan Metode Hybrid-Dimension Association Rules*.
- Elisa, E. (2018). *Market Basket Analysis Pada Mini Market Ayu Dengan Algoritma Apriori*. 2(2), 472–478. <http://jurnal.iaii.or.id>

- Fitria, R., Nengsih, W., & Qudsi, D. H. (2017). Implementasi Algoritma FP-Growth Dalam Penentuan Pola Hubungan Kecelakaan Lalu Lintas. *Jurnal Sistem Informasi*, 13(2), 118. <https://doi.org/10.21609/jsi.v13i2.551>
- Henando, L. (2019). Algoritma Apriori Dan Fp-Growth Untuk Analisa Perbandingan Data Penjualan Laptop Berdasarkan Merk Yang Diminati Konsumen (Studi Kasus: Indocomputer Payakumbuh). *J-Click*, 6(2).
- Irfan, A., & Suasana, I. (2021). The effect of bundling strategy, price perception, and brand image on purchase decisions (Study on local fast food retailers in Bali, Indonesia). *Journal of Business and Retail Management Research*, 5(6), 295-299.
- Kalijaga, M. (2021). Penerapan Analytical Hierarchy Process, Clustering, dan AR-MBA sebagai Solusi Strategi Pemasaran Pada Toko Swalayan X. *Jurnal Studi Inovasi*, 1(4), 33–39. <https://doi.org/10.52000/jsi.v1i4.63>
- Nandar Cundara, M. Ansyar Bora, & Kiki Rahmat. (2018). *PERANCANGAN DAN PENGEMBANGAN HOLDER HANDPHONE FLEXIBEL YANG ERGONOMI*.
- Rizqi, Z. U. (2019). *Implementation of Association Rule-Market Basket Analysis in Determining Product Bundling Strategy: Case Study of Retail Businesses in Indonesia*.
- Sharif, A. (2019). DATA MINING UNTUK MEMPREDIKSI ITEMSET PROMOSI PENJUALAN BARANG MENGGUNAKAN METODE MARKET BASKET ANALYSIS (MBA) (STUDI KASUS: TOKO SENTRA PONSEL). *Jurnal Mantik Penusa*, 3(Desember), 117–123.
- Tri, A., Dani, R., Wahyuningsih, S., Nanda, D., & Rizki, A. (2020). Pengelompokan Data Runtun Waktu menggunakan Analisis Cluster (Studi Kasus: Nilai Ekspor Komoditi Migas dan Nonmigas Provinsi Kalimantan Timur Periode Januari 2000-Desember 2016) Grouping of Time Series Data using Cluster Analysis (Case Study: Export Value of Oil and Non-oil Commodities in East Kalimantan Provinces Period. *Jurnal EKSPONENSIAL*, 11(1).
- Winarti, D., Kom, M., Revita, E., Yandani, E., Lintas Sumatera, J., 18 Koto, K. M., Dharmasraya, B., & Barat, S. (2021). Penerapan Data Mining untuk Analisa Tingkat Kriminalitas Dengan Algoritma Association Rule Metode FP-Growth. *Jurnal SIMTIKA*, 4(3).

Desain dan Spesifikasi Pompa untuk Distribusi Air di Pelabuhan Teluk Bayur

Ir. Benny Dwika Leonanda, ST.,MT., IPM. ASEAN Eng.

Program Studi Program Profesi Insinyur, Sekolah Pascasarjanas, Universitas Andalas,
Kampus Unand Limau Manis, Padang, 25163, Indonesia
Email: benny@eng.unand.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini membahas perancangan sistem pemipaan untuk distribusi air di Pelabuhan Teluk Bayur Padang, dengan fokus pada pemilihan dan perhitungan daya pompa yang diperlukan. Analisis melibatkan faktor-faktor seperti rugi-rugi aliran, keandalan sistem, keamanan, dan efisiensi operasional. Faktor keamanan diterapkan dalam perencanaan untuk memastikan kontinuitas operasional, dengan pemilihan tiga pompa di rumah pompa, di mana dua pompa dioperasikan secara bersamaan dan satu sebagai cadangan. Pemilihan pompa dilakukan dengan mempertimbangkan perhitungan daya dan faktor keamanan, namun harus disesuaikan dengan ketersediaan pompa yang sesuai. Hasil akhir, sistem ini memerlukan pompa dengan daya sekitar 1 kW, dengan tiga pompa dipasang untuk setiap instalasi untuk memastikan ketahanan dan kontinuitas operasional.

Kata kunci: *Multi Outlet*, Rugi Aliran, Faktor Keamanan, Pemilihan Pompa

1. Pendahuluan

1.1 Pelabuhan Teluk Bayur

Pelabuhan Teluk Bayur dibangun pada tahun 1890 setelah ditemukannya ladang batubara sekitar 40 mil dari pantai Sumatera Barat. Lokasi pelabuhan dipilih di timur laut Teluk Bungus, yang berjarak 8 km dari Kota Padang, dan diberi nama "Emma-haven" untuk menghormati nenek Ratu yang bernama Emma dari Belanda. Pada masanya, pelabuhan ini merupakan satu-satunya pelabuhan terlindung di pantai barat Sumatera sepanjang seribu mil laut, sehingga memberikan kehidupan baru bagi kota kuno Padang. Emmahaven memiliki kepentingan komersial dan industri yang signifikan dan segera menjalankan pelayaran reguler. Selain Perusahaan Pelayaran Antar Pulau (KPM), kapal dari Belanda, Jerman, Inggris, dan Jepang juga beroperasi di Emmahaven. Hingga tahun 1924, ketika Pelabuhan Belawan-Deli di Sumatera Timur mengambil alih peran utama karena perkembangan perkebunan tembakau dan karet, Emmahaven adalah salah satu dari lima pelabuhan terbesar di Hindia Belanda yang melakukan ekspor selain semen, produk-produk asli yang dikemas ulang menjadi karet, kopi, kopra, kayu manis, cengkeh, dan teh. Setahun sebelum pendudukan Jepang, sebanyak 450 kapal dengan volume satu juta ton beroperasi di Emmahaven. Pada tahun 1949, 150 kapal dengan volume 300.000 ton tiba di pelabuhan ini (CIA, 1951).

Saat ini pelabuhan Teluk Bayur dikelola oleh PT Pelabuhan Indonesia Persero. Pelabuhan Teluk Bayur merupakan pelabuhan kelas I yang memberikan pelayanan pandu dan tunda, pelayanan petikemas, pelayanan curah cair, pelayanan curah kering, dan pelayanan berbagai keperluan lainnya (*multipurpose*). Sebagai sebuah pelabuhan, pelabuhan Teluk Bayur memiliki fasilitas yang memadai sebagai pelabuhan umum antara lain kolam pelabuhan 30,89 Ha, dan area darat 544 Ha. Lahan tersebut diisi dengan dermaga 1.565 m, gudang Penumpukan 18.401 m², fasilitas batu bara 10,77 Ha, fasilitas semen 11 unit (88.000 ton), fasilitas Pupuk 9.500 ton, fasilitas Minyak Sawit 15 unit (22.600 ton), dan Area Terminal Penumpang untuk 2000 orang (Wikipedia, 2024).



Gambar 1. Pelabuhan Teluk Bayur

Fasilitas persediaan air pada saat awal dibangun tersedia dengan kecepatan 25 ton per jam (416 liter per menit). Mengingat lokasi pelabuhan teluk bayur jauh dari sungai tentu air diperoleh dari mata air disekitar kaki bukit di sekeliling Teluk Bayur. Namun kondisi demikian tidak dimungkinkan lagi, karena berbagai fasilitas alam tidak lagi tersedia, dan lingkungan sudah dipenuhi oleh penduduk. Sehingga untuk persediaan air pelabuhan di suplai oleh PDAM. Air yang diperoleh dari PDAM disimpan melalui tangki tandon yang berjumlah 6 buah dengan kapasitas 1500 liter per unit dan saat sekarang disuplai 166 liter per menit di kali dua dengan menggunakan pompa air.

1.2 Pompa Air dan Sistem Pemipaan

Pompa adalah alat yang memindahkan cairan dengan aksi mekanis, dari satu tempat ke tempat lain. (M Volk, 2013). Penggunaan pompa biasanya digunakan untuk mendistribusikan dan mengumpulkan cairan dan memiliki aplikasi di berbagai bidang teknik, terutama untuk kebutuhan penyediaan air. (B. Coelho, 2014). Ketika air mengalir di dalam pipa sering kali terdapat variasi debit dari saluran keluar pipa akibat dari kerugian yang terjadi sepanjang pipa. (A. Freire. 2014). Hal tersebut mungkin saja akibat gesekan pipa, adanya percabangan, belokan, katup, dan instrumen lain yang dipasang di sepanjang saluran. Kondisi saluran pipa tersebut menentukan variasi kecepatan dan debit yang mengalir di dalam pipa (Wissam, 2019).

Variasi aliran di dalam pipa dapat ditentukan melalui prosedur analisis yang mempertimbangkan aliran keluar dari pipa, menggunakan analisis hidrolis dan desain pipa dengan banyak muara (Huan, 2015). Persamaan Bernoulli yang dimodifikasi digunakan dengan mempertimbangkan penurunan gesekan rata-rata untuk memperkirakan konsep aliran keluar yang diasumsikan sama. Untuk menentukan kerugian *head* gesekan, digunakan rumus Darcy-Weisbach dan juga mempertimbangkan kerugian *head* minor (John, 2005). Pipa yang panjang dengan banyak belokan dan berbagai instrumen yang dipasang akan meningkatkan kerugian gesekan (R. A. Ibrahim, 2011). Teknik analitis sederhana dalam menghitung gesekan pipa mudah diadaptasi untuk desain sistem pemipaan dengan berbagai jenis pipa berdiameter berbeda, dan rezim aliran seragam. (Gürol, 2007). Teknik ini lebih praktis dan tidak

memerlukan waktu lama dalam perhitungan. Artikel ini mengungkapkan prosedur perhitungan rugi-rugi sepanjang saluran, debit atau laju aliran untuk setiap percabangan, dan penentuan jenis pompa yang akan digunakan untuk sistem pemipaan ini.

1.3 Tujuan dan pembatasan penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk membahas distribusi air ke dalam tandon di Pelabuhan Teluk Bayur Padang khususnya pemilihan pompa yang akan digunakan untuk fasilitas penyediaan air bersih di lingkungan Pelabuhan Teluk Bayur. Kebutuhan ini tidak hanya diperlukan untuk menyuplai kebutuhan air di perkantoran yang ada di Teluk Bayur tetapi juga untuk pengisian ulang air ke kapal-kapal yang bersandar di pelabuhan, kebutuhan kru kapal, pembersihan kapal, dan pemeliharaan peralatan Pelabuhan. Mengingat volume air yang besar dan fluktuasi permintaan, tandon dengan kapasitas besar menjadi esensial untuk memastikan kelancaran operasi Pelabuhan. Keberadaan tandon di pelabuhan berperan penting dalam menjaga efisiensi dan kontinuitas pelayanan dengan ditempatkan di lokasi strategis untuk memudahkan distribusi air ke berbagai titik, hal ini mengurangi waktu pengisian ulang air di kapal dan meminimalkan gangguan dalam operasi pelabuhan; selain itu, tandon berfungsi sebagai cadangan air dalam situasi darurat, seperti pertolongan pertama saat terjadi kebakaran atau kerusakan sistem distribusi air utama, sehingga memastikan pelabuhan selalu memiliki akses ke air bersih yang cukup untuk kebutuhan kritis.

Sebelumnya, sistem pemipaan dan distribusi air merupakan fasilitas lama yang perlu diperbarui sebagian, oleh karena itu, enam tandon telah dibangun baru, yang harus dilengkapi dengan pompa baru, namun tanpa mengubah sistem pemipaan yang lama. Namun perancangan dan pembuatan tandon dan instalasi pemipaan bukan bagian dari penelitian ini.

2. Metode Perhitungan

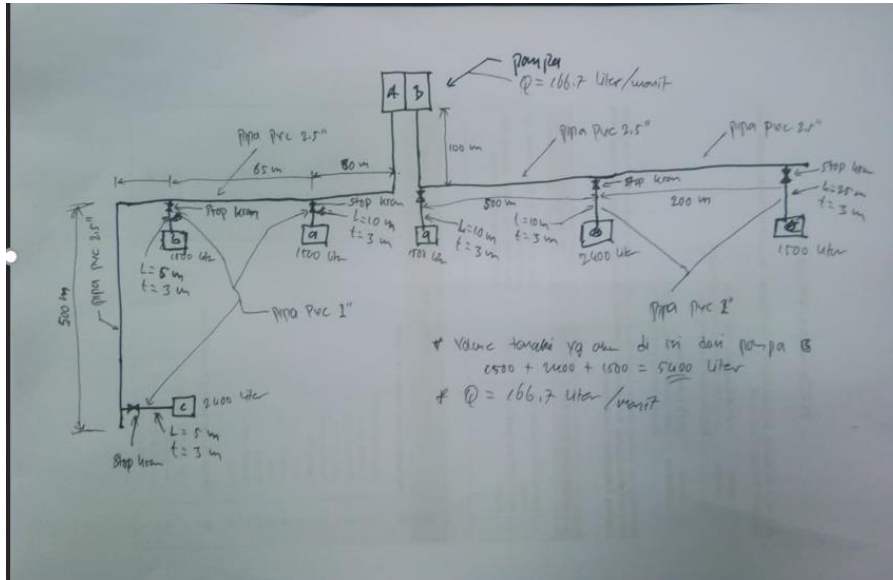
Sistem pemipaan pada instalasi suplai air di Teluk Bayur dilengkapi dengan tiga buah tangki penyimpanan, atau tandon. Terdapat dua unit instalasi dengan spesifikasi yang hampir sama, masing-masing memiliki tiga tandon. Dalam kalkulasi, kedua instalasi dihitung untuk memastikan kinerja yang optimal. Perbedaan antara keduanya, jika ada, kemungkinan terletak pada panjang pipa, yang dapat menghasilkan tekanan tambahan pada saluran air. Tandon berperan sebagai tempat penyimpanan air bersih dan biasanya ditempatkan di hampir setiap rumah atau bangunan di seluruh daerah. Air yang tersimpan dalam tandon digunakan kembali untuk berbagai keperluan. Ukuran tandon umumnya cukup besar, dan sering kali diletakkan di luar bangunan untuk memenuhi kebutuhan penyimpanan yang memadai.

2.1 Sketsa Sistem dan Data Desain

Daya pompa ditentukan oleh data desain yang merujuk pada informasi terkait proses perancangan produk atau proyek desain, meliputi gambar teknis, model 3D, sketsa, spesifikasi material, dan informasi lainnya. Informasi ini digunakan oleh desainer, insinyur, dan tim pengembangan untuk menciptakan atau memperbaiki desain serta berkomunikasi dengan pihak lain yang terlibat dalam produksi.

Dalam perancangan pompa untuk tandon air di Teluk Bayur, data desain yang diperlukan mencakup gambar sketsa instalasi pemipaan. Meskipun sebaiknya gambar tersebut dipindahkan ke gambar teknis untuk dokumentasi lebih lanjut, sketsa tersebut sudah cukup mewakili informasi yang dibutuhkan, termasuk dimensi dan instrumen dalam sistem pemipaan. Meskipun demikian, hal ini diperlukan untuk memastikan efisiensi pelaksanaan pekerjaan di lapangan.

Selain itu, tandon di pelabuhan memiliki peran penting dalam menjaga efisiensi dan kontinuitas pelayanan. Penempatan tandon di lokasi strategis di sekitar pelabuhan memudahkan distribusi air ke berbagai titik yang membutuhkan, mengurangi waktu yang dibutuhkan untuk pengisian ulang air di kapal, dan meminimalkan gangguan dalam operasi pelabuhan. Tandon juga berfungsi sebagai cadangan air dalam situasi darurat, seperti kebakaran atau kerusakan pada sistem distribusi air utama, untuk memastikan bahwa pelabuhan selalu memiliki akses ke air bersih yang cukup untuk segala kebutuhan kritis.



Gambar 2. Sketsa sistem pemipaan (dibuat dengan tangan)

Data sistem pemipaan instalasi tandon air di Pelabuhan Teluk Bayur dapat dilihat pada Tabel 1. Dalam data tersebut tercatat tentang debit, head isap, head tekan atau tinggi reservoir, densitas air (asumsi), dan viskositas air. Data ini mencukupi untuk perhitungan awal untuk penentuan daya pompa.

Tabel 1. Data sistem pemipaan instalasi tandon air di Pelabuhan Teluk Bayur

Besaran	Ukuran	Satuan
Debit	166,7	ltr/min
Head Isap (PDAM)	2	m
Head Tekan (Dischard), tinggi reservoir	2,74	m
Densitas air	1000	kg/m ³
Viskositas air	0,00089	Pa.s

2.2 Kondisi Pemipaan Sesi

Pembagian sesi dalam sistem pemipaan dapat bervariasi tergantung pada jenis sistem yang digunakan. Sesi pipa dalam sistem pemipaan merujuk pada segmen atau bagian-bagian tertentu dari jaringan pipa yang membentuk sistem tersebut, yang masing-masing memiliki fungsi atau peran tertentu dalam mengalirkan fluida seperti air. Dalam sistem pemipaan air, pembagian sesi umumnya mencakup bagian inlet atau sumber, yang merupakan titik awal atau sumber masukan dalam sistem. Dalam desain tertentu, sesi inlet terdiri dari pipa PDAM. Selanjutnya, sesi distribusi bertanggung jawab untuk membagikan air ke berbagai titik penggunaan. Dalam

desain ini, air didistribusikan ke tiga tandon dengan menggunakan jaringan utama yang menghubungkan sumber air ke tempat penampungan akhir. Jarak sistem pipa pada masing-masing tandon dapat dilihat pada Tabel 2.

Tidak ada sistem penyaringan dalam sistem pemipaan ini karena air yang didistribusikan telah melewati perawatan dan pemeliharaan di instalasi PDAM sehingga layak dikonsumsi dan digunakan untuk berbagai keperluan. Pemompaan menjadi bagian krusial dalam sistem ini, di mana pompa digunakan untuk menciptakan tekanan yang diperlukan agar air dapat mengalir ke tempat penyimpanan akhir. Uraian dalam tulisan ini mencakup perhitungan yang diperlukan untuk menentukan *head* dan spesifikasi pompa yang dibutuhkan. Pada akhirnya, sistem pemipaan ini mencakup tandon air sebagai tempat penyimpanan akhir, yang memiliki spesifikasi khusus untuk memenuhi kebutuhan akhir penggunaan air.

Tabel 2. Kondisi pemipaan sesi

Sesi	Panjang (m)		Diameter (m)
Sesi 1	180	100	0,05
Sesi 2	65	500	0,05
Sesi 3	500	200	0,05

Pembagian sesi pipa dalam sistem pemipaan berperan penting dalam perencanaan, perancangan, dan instalasi yang efisien serta sesuai dengan kebutuhan penggunaan fluida di suatu bangunan atau wilayah. Setiap sesi pipa memiliki karakteristik dan persyaratan teknis yang berbeda, bergantung pada fungsinya dalam sistem pemipaan.

2.3 Berbagai Perhitungan yang Digunakan di Dalam Perancangan

2.3.1 Data desain sistem pemipaan

Hal pertama yang ditetapkan dalam desain adalah menentukan daya berdasarkan debit yang diasumsikan, *head* isap, dan *head* tekan sesuai dengan kondisi lapangan, serta data densitas dan viskositas air. Tabel 3 memuat pengukuran dan asumsi yang digunakan untuk menentukan daya yang dibutuhkan dalam sistem, mencakup parameter-parameter kunci tersebut.

Tabel 3. Data desain sistem pemipaan

Besaran	Instalasi A	Instalasi B	Satuan
Debit	166,7	166,7	ltr/min
Head Isap (PDAM)	2	2	m
Head Tekan (Dischard), tinggi reservoir	2,74	2,74	m
Densitas air	1000	1000	kg/m ³
Viskositas air	0,00089	0,00089	Pa. s

2.3.2 Kondisi sistem pemipaan

Tabel 4 menjelaskan kondisi pipa yang terkait dengan panjang dan diameter pipa yang ditentukan menuju tiga reservoir. Informasi ini mencakup detail spesifik mengenai parameter pipa yang digunakan dalam desain sistem distribusi air, yang penting untuk memastikan efisiensi dan kinerja optimal.

Tabel 4. Kondisi aliran pipa sebelum percabangan

Besaran	Instalasi A		Instalasi B		Satuan
	Panjang pipa	Diameter pipa	Panjang Pipa	Diameter Pipa	
Sesi I	180	0,05	100	0,05	m
Sesi II	65	0,05	500	0,05	m
Sesi III	500	0,05	200	0,05	m

Dalam penentuan debit dan kecepatan aliran yang masuk ke dalam tandon, asumsi dasar yang digunakan adalah bahwa total debit aliran (Q_{total}) dapat dihitung sebagai jumlah dari tiga debit aliran individu (Q_1 , Q_2 , dan Q_3), yaitu:

$$Q_{total} = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (1)$$

Selain itu, Q_{total} dapat dihitung dengan menggunakan prinsip bahwa kecepatan aliran (V_1) pada area penampang saluran (A_1) adalah faktor penting dalam menentukan debit aliran (Q_1) pada saluran tersebut. Oleh karena itu, hubungan antara debit (Q_1) dan kecepatan aliran (V_1) dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$Q_1 = A_1 \times V_1 \quad (2)$$

Pada sesi 1 sebelum percabangan pertama, kecepatan aliran Q_{total} merupakan hasil penjumlahan dari seperti pernyataan pada pers. 1. Dan kecepatan aliran pada sesi 1 (sebelum percabangan pertama), kecepatan pada sesi I, V_1

$$V_1 = \frac{Q_{total}}{A_{total}} = 1,4517 \text{ m/s} \quad (3)$$

Kecepatan aliran untuk masing-masing cabang dengan menggunakan pipa setengah dari pipa pertama, $D_{cabang} = 0,025$ m, maka luas penampang pipa cabang adalah:

$$A_1 = \pi \times \frac{D^2}{4} = 0,000491 \text{ m}^2 \quad (4)$$

Dan kecepatan pada pipa cabang dengan diameter 1 inci atau 25,4 mm:

Tabel 5. Aliran pada pipa setelah percabangan

Pipa	Instalasi A		Instalasi B	
	Kecepatan	Satuan	Kecepatan	Satuan
Sesi 1	1,887615	m/s	1,887615	m/s
Sesi 2	1,887615	m/s	1,887615	m/s
Sesi 3	1,887615	m/s	1,887615	m/s

Dalam hal ini diasumsikan bahwa setiap cabang menerima pasokan dari pipa utama pada posisi dan tekanan yang sama. Sesuai dengan persamaan kontinuitas, setiap cabang pipa paralel menerima aliran yang sama. Seperti sebelumnya disebutkan, debit aliran pada Sesi 1 sebelum percabangan pertama adalah $Q_1=Q_{total}=0,002778 \text{ m}^3/\text{s}$, dan kecepatan $V_1= 1,415711 \text{ m/s}$, sehingga bilangan Reynold pada cabang instalasi A dapat dihitung dengan rumus:

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} = 79.534,34 \quad (5)$$

Dan faktor gesek pipa dapat diperoleh pada diagram Moody dengan menyatakan bahwa pipa adalah pipa baja dengan rasio kekasaran permukaan dengan diameter untuk pipa baja komersial dan diameter 2" (5 cm), ϵ/d sebesar 0,00157, maka faktor gesek $f= 0,017$. Dengan menggunakan percamaan Darcy-Weisbach (Gürol, 2007)

$$h_{loss} = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g} \quad (6)$$

Secara umum, rugi-rugi aliran untuk pipa utama sebelum percabangan dari masing-masing cabang dapat diperoleh melalui perhitungan dan disimpulkan dalam tabel berikut:

Tabel 6. Rugi-rugi aliran pada pipa utama

Besaran	Instalasi 1	Instalasi 2	Satuan
Bilangan Reynold	79534,34	79534,34	
Faktor Gesek	0,017	0,017	
H_{loss}	6,251753	3,473196	m

Sementara rugi-rugi aliran hingga percabangan termasuk rugi-rugi minor di percabangan dihitung dengan asumsi satu elbow, $K=0,03$, dengan total rugi sebesar 0,030646 m. Asumsinya adalah bahwa rugi-rugi antara pipa instalasi A dan B dianggap sama.

Tabel 7. Rugi-rugi lairan setelah cabang, dengan masing-masing tiga keluaran sebelum menuju tandon.

Besaran	Instalasi 1			Instalasi 2			Satuan
	Cabang 1	Cabang 2	Cabang 3	Cabang 1	Cabang 2	Cabang 3	
Bilangan Reynold	53022,89	53022,89	26511,45	79534,34	53022,89	26511,45	
Faktor Gesek	0,018	0,018	0,024	0,017	0,018	0,024	
H_{loss}	6,251753	1,062389	2,724075	3,473196	8,172226	1,08963	m
H minor	0,030646	0,036321	0,005675	0,030646	0,036321	0,005675	m
H loss total	6,282399	1,062389	2,72975	3,503842	8,172226	1,095305	m

2.3.3 Rugi-rugi aliran di setiap percabangan untuk setiap tandon.

Rugi-rugi aliran di setiap percabangan untuk setiap tandon dapat dilihat pada Tabel 8. Perhitungan dilakukan untuk setiap percabangan.

Tabel 8. Rugi-rugi aliran di setiap percabangan untuk setiap tandon.

Pipa	Panjang Pipa Instalasi A	Panjang Pipa Instalasi B	Satuan
Tandon 1	10	10	m
Tandon 2	5	5	m
Tandon 3	5	5	m

Dan kecepatan aliran untuk setiap cabang adalah sebesar 1,887615 m/s, dengan asumsi tekanan awal sama untuk setiap percabangan. Meskipun tekanan terdistribusi sama sepanjang pipa

utama. Dengan menggunakan data densitas 1000 kg/m^3 , viskositas $0,00089 \text{ Pa.s}$, dan diameter $0,0254 \text{ m}$, rugi aliran untuk setiap cabang dapat dilihat dalam Tabel 9.

Tabel 9. Rugi-rugi aliran untuk masing-masing cabang

Besaran	Instalasi A			Instalasi B			Satuan
	Tandon 1	Tandon 2	Tandon 3	Tandon 1	Tandon 2	Tandon 3	
Reynolds	53022,89	53022,89	53022,89	53022,89	53022,89	53022,89	
Faktor gesek	0,017	0,018	0,02	0,02	0,02	0,025	
H _{loss}	1,45284	0,72642	0,908025	1,45284	0,72642	0,908025	m
K _{total}	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	
H _{minor}	0,208846	0,208846	0,208846	0,208846	0,208846	0,208846	m
H _{totloss}	1,661686	0,935266	1,116871	1,661686	0,935266	1,116871	m

2.4 Rugi-rugi Aliran Keseluruhan Sistem Pemipaan

Head total ditentukan dengan menjumlahkan keseluruhan head yang ada, dari head isap (suction), head tekan (dischard), dan head rugi aliran (head losses). Sehingga dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$H_{\text{total}} = H_{\text{suciton}} + H_{\text{losses}} \quad (7)$$

Sementara daya pompa dihitung dengan menghitung dengan memasukan faktor gravitasi, g , dan densitas, ρ , dan kapasitas, Q , terhadap head total, H_{total} . Jadi dapat dinyatakan dalam bentuk:

$$\text{Daya} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H_{\text{total}} \quad (8)$$

Dengan tinggi discharge, tinggi tandon, $H_d = 3 \text{ m}$, dan tinggi isap pada PDAM, $H_{\text{suction}}=2 \text{ m}$, hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Perhitungan daya pompa pompa

Besaran	Instalasi A	Instalasi B	Satuan
H total	18,78836	21,4852	m
Debit total	0,002778	0,002778	m^3/s
Densitas (rho)	1000	1000	Kg/m^3
Gravitasi	9,81	9,81	m/s^2
Daya Pompa=	512,0852	585,5887	Watt

Terdapat dua pilihan daya pompa yaitu $512,08 \text{ Watt}$ dan $585,58 \text{ Watt}$. Untuk pilihan selanjutnya dilakukan dengan mempertimbangkan faktor pengali atau faktor keamanan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Faktor Keamanan (*Factor of Safety*)

Faktor keamanan (*Factor of Safety*/FoS) penting dalam rekayasa teknik untuk menjamin kekuatan struktur dan keandalan sistem teknik. Awalnya, FoS diberikan nilai 5 untuk kode bejana tekan ASME sebelum Perang Dunia II, kemudian dikurangi menjadi 4 pada tahun 1944 karena kekurangan baja saat perang, dan kembali ke nilai 5 setelah tahun 1951. Angka tersebut kemudian ditetapkan menjadi 4 hingga akhir tahun 1990, dan kemudian diubah menjadi 3.5 untuk ASME B31.1 dan ASME VIII Division I. (George, 2003).

Faktor keamanan tidak lepas dari hampir seluruh aplikasi teknik untuk berbagai kebutuhan. Bangunan menggunakan faktor keamanan 2,0 untuk setiap anggota struktur. Nilai untuk bangunan relatif rendah karena bebannya dipahami dengan baik dan sebagian besar struktur bersifat mubazir. Bejana tekan menggunakan 3,5 hingga 4,0, mobil menggunakan 3,0, dan pesawat terbang serta pesawat ruang angkasa menggunakan 1,2 hingga 4,0 tergantung pada aplikasi dan materialnya. Bahan logam yang ulet cenderung menggunakan nilai yang lebih rendah sedangkan bahan yang rapuh menggunakan nilai yang lebih tinggi bahkan mencapai 8 s/d 10. (Wikipedia,2024). Bidang teknik yang menggunakan faktor keamanan rendah pada umumnya membutuhkan perhatian yang serius terhadap kontrol kualitas yang ketat, dan jadwal pemeliharaan preventif.

3.2 Faktor Pengali Untuk Keandalan Sistem Pompa

Dalam penyediaan suplai air untuk berbagai keperluan faktor pengali atau faktor keamanan di dalam struktur dapat diterapkan untuk menjamin keandalan sistem pemompaan. Namun, faktor pengali yang digunakan dalam perancangan sistem pompa air tidak selalu sama seperti yang digunakan dalam rekayasa struktural. Faktor pengali dalam desain sistem pompa biasanya mempertimbangkan beberapa hal:

- Variasi Permintaan Air: Sistem pompa harus mampu menangani fluktuasi permintaan air berdasarkan waktu dan hari.
- Pertumbuhan Masa Depan: Desain sistem harus mempertimbangkan pertumbuhan populasi dan peningkatan penggunaan air di masa depan.
- Efisiensi Pompa dan Sistem: Sistem harus memiliki cadangan kapasitas untuk mengakomodasi variasi dalam efisiensi operasional pompa.
- Keandalan dan Redundansi: Sistem pompa harus memiliki redundansi untuk memastikan suplai air tidak terganggu.
- Keadaan Darurat dan Pemeliharaan: Sistem harus mampu menangani situasi darurat dan pemeliharaan tanpa gangguan signifikan.

Biasanya, faktor pengali atau faktor pengali yang digunakan dalam sistem pompa air berkisar antara 1.5 hingga 2.5 kali dari kapasitas desain, tergantung pada konteks dan kondisi spesifik. Berikut beberapa contoh penerapan faktor pengali untuk industri dan fasilitas penting biasanya menggunakan faktor pengali 1.5 s.d. 3 untuk memastikan keberlanjutan operasional dan mengatasi kebutuhan proses yang sangat variatif.

Dengan demikian pompa yang harus dipasang pada rumah pompa dipasang sebanyak 3 buah, dan dioperasikan sebanyak dua buah, dan satu lagi untuk kebutuhan perawatan sistem dan keperluan darurat. Dengan sendirinya untuk daya pompa yang harus dipasang:

Tabel 11. Daya terpasang pada pompa dan kelipatan daya pompa

Pompa	Daya desain	Faktor Pengali		
		1.5	2	3
Instalasi A	512,0852	768,1278	1024,17	1536,2556
Instalasi B	585,5887	878,3831	1171,177	1756,7661

Hal ini dicocokkan dengan desain rumah pompa dengan jumlah tiga pompa di pasang untuk masing-masing instalasi dengan menggunakan faktor pengali 1.5, maka diperoleh daya pompa untuk masing-masing jumlah pompa (kumulatif):

Tabel 12. Daya pompa dan daya terpasang keseluruhan pompa

Pompa	Daya desain	Jumlah Pompa		
		1	2	3
Instalasi A (Wat)	512,0852	768,1278	1.536,2556	2.304,3834
Instalasi B (Watt)	585,5887	878,3831	1.756,7661	2.635,1492

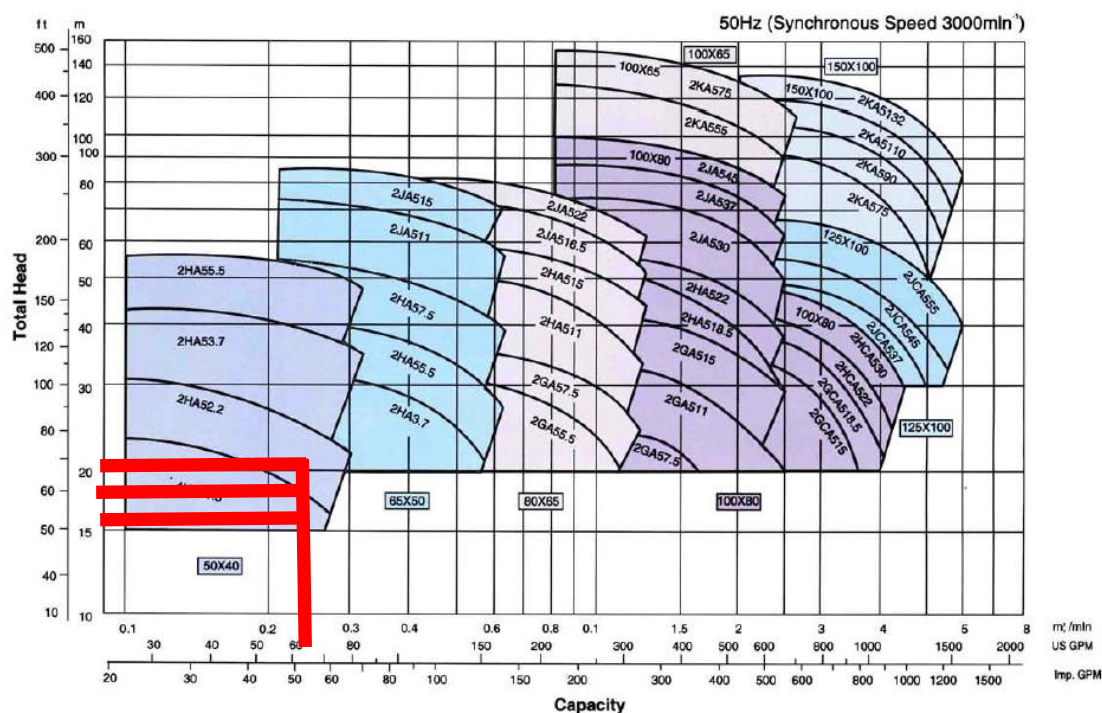
Sebagai akibatnya tentu saja jumlah debit masing-masing pompa akan mengubah debit total keseluruhan pompa, dengan *head* konstan untuk semua pompa sama dengan *head design*, $H=21,4852$ m.

Tabel 12. Debit aliran pada pompa

Satuan	Debit desain	Debit Jumlah Pompa		
		1	2	3
m ³ /s	0,00277833	0,004167	0,00555667	0,008335
Lt/min	166,699973	250.0227	333,399946	500,09992
GPM (US)	44,0374653	66,0562	88,0749306	132,1124

3.3 Pemilihan Pompa

Pemilihan pompa didasarkan perhitungan daya untuk pompa yang dipasang pada rumah pompa. Pilihan yang dilakukan adalah memilih satu pompa dengan skala faktor pengali 1,5 kali dari data desain, dan kemudian dipasang sebanyak tiga pompa pada rumah pompa dan di beroperasi dua pompa, dan satu pompa sebagai cadangan untuk perbaikan dan keadaan darurat. Hasil pemilihan tersebut dicocokkan ke kurva H-Q yang disediakan dari Gambar karakteristik pompa yang disediakan pabrik pompa. Pada gambar dapat dilihat Grafik Pompa.



Gambar 3. Kurva H-Q dari berbagai pompa produksi Erbara (Erbara)

Namun Ketika kita melakukan plot pada Grafik H-Q yang disediakan oleh pabrik (Gambar 3), tidak tersedia dengan *Head* yang dibutuhkan. Pada umumnya kita harus mengikuti ketersediaan untuk spesifikasi pompa yang ada di pabrik pompa. Pada Grafik tersebut kita bisa melihat pompa yang tersedia adalah pompa 2HA52.2. Dengan sendirinya *Head*, H menjadi berubah menjadi 80 kaki, atau 24 m, dan daya menjadi 981,196042 Watt, atau 1 kW untuk satu pompa atau 1,95 kali untuk pompa instalasi A dan 1,70 kali untuk pompa instalasi B

Jika dihitung debit yang diperoleh dari daya pompa 1 kw, diperoleh debit sebesar 0,0042645 m³/s, atau 15, 35 ton per jam. Jika dipakai 2 dan 3 pompa di rumah pompa maka perolehan air menjadi 30,70 dan 46,05 ton per jam. Dengan demikian jika ditilik dari desain awal pelabuhan Teluk Bayur pada zaman Belanda tahun 1890, di mana mereka memeriksa ketersediaan air untuk kebutuhan Pelabuhan Teluk Bayur yang pada saat itu adalah 25 ton per jam yang menjadi penunjang keputusan untuk membangun pelabuhan, maka ketersediaan air saat ini bisa mencapai 15, 35 s/d 46,05 ton per jam di kali dua rumah pompa sehingga ketersediaan air mencapai 30,7 s/d 90,1 ton per jam. Tentunya hal ini telah memenuhi syarat sesuai dengan kebutuhan saat ini, dan ini merupakan debit untuk satu rumah pompa.

4. Penutup

4.1 Kesimpulan

Faktor keamanan digunakan di hampir seluruh aplikasi teknik untuk menjamin kekuatan dan keandalan, dengan nilai yang bervariasi tergantung pada jenis struktur dan material, di mana bahan yang lebih rapuh membutuhkan faktor yang lebih tinggi dan aplikasi dengan faktor rendah memerlukan kontrol kualitas dan pemeliharaan yang ketat.

Dalam penyediaan suplai air, faktor pengali diterapkan untuk menjamin keandalan sistem pompa air dengan mempertimbangkan variasi permintaan, pertumbuhan masa depan, efisiensi, keandalan, dan keadaan darurat, umumnya berkisar antara 1,5 hingga 2,5 kali kapasitas desain. Untuk instalasi, biasanya digunakan tiga pompa, dengan dua beroperasi dan satu sebagai cadangan, untuk memastikan kontinuitas operasional dan pemeliharaan tanpa gangguan untuk satu rumah pompa.

Pemilihan pompa didasarkan pada perhitungan daya dengan faktor pengali 1,5 kali dari data desain, dan tiga pompa dipasang di rumah pompa, dioperasikan dua pompa, dan satu sebagai cadangan. Namun, ketika melakukan plot pada kurva H-Q dari pabrik Pompa, ditemukan bahwa pompa yang tersedia memiliki spesifikasi berbeda, sehingga *head* berubah menjadi 24 m dan daya menjadi 1 kW per pompa, dengan faktor pengali 1,95 untuk instalasi A dan 1,70 untuk instalasi B.

Jika ditilik dari desain awal pelabuhan Teluk Bayur pada zaman Belanda tahun 1890, di mana mereka memeriksa ketersediaan air untuk kebutuhan Pelabuhan Teluk Bayur yang pada saat itu adalah 25 ton per jam yang menjadi penunjang keputusan untuk membangun pelabuhan, maka ketersediaan air saat ini bisa mencapai 15, 35 s/d 46,05 ton per jam di kali satu rumah pompa sehingga ketersediaan air mencapai 30,7 s/d 92,1 ton per jam. Tentunya hal ini telah memenuhi syarat sesuai dengan kebutuhan saat ini, dan ini merupakan debit untuk satu rumah pompa.

4.2 Saran

Sehubungan dengan analisis yang tidak termasuk dalam perhitungan diameter pipa, terjadi peningkatan daya pompa sehingga instalasi pemipaan yang direncanakan sebelumnya tidak memadai untuk desain dan aplikasinya. Oleh karena itu, diameter pipa instalasi sistem pemipaan digandakan menjadi 4" (10 cm). Dengan demikian, saluran air meningkat menjadi 4 kali lipat

dari semula, dan sistem ini dijamin aman untuk pendistribusian air dengan daya pompa maksimum.

Ucapan Terima Kasih

Dengan segala hormat, saya menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Direktur Sekolah Pascasarjana Universitas Andalas atas dukungan finansial yang telah diberikan dalam proses publikasi penelitian ini. Bantuan tersebut sangat berarti bagi kelancaran dan kesuksesan penelitian ini. Terima kasih atas komitmen dan kontribusi yang luar biasa dalam mendukung kemajuan ilmu pengetahuan dan penelitian di Universitas Andalas.

Daftar Pustaka

- Central Intelligence Agency (CIA) America, Port Data: Emma-haven (Port of Padang), 1951, <https://www.cia.gov/readingroom/docs/CIA-RDP80-00926A003200040004-0.pdf>, 18-07-2024.
- Erbara, Centrifugal End Suction Volute Pump Model FSA, P T . Ebara Indonesia
- Freire Diogo, Fábila A. Vilela, 2014, Head losses and friction factors of steady turbulent flows in plastic pipes, *Urban Water Journal*, Volume 11, - Issue 5.
- Coelho, A. Andrade-Campos, 2014, Efficiency achievement in water supply systems—A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 30, Pages 59-84
- Factor of safety, ini https://en.wikipedia.org/wiki/Factor_of_safety, diakses 12 Mei 2024.
- George A. Antaki, 2003, *Piping and Pipeline Engineering Design, Construction, Maintenance, Integrity, and Repair*, by Marcel Dekker, Inc. All Rights Reserved
- Gürol Yıldırım, M.ASCE Author Affil, 2007, Analytical Relationships for Designing Multiple Outlets Pipelines, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering Archive* Vol. 133, No. 2
- Huan-Feng Duan, 2015, Uncertainty Analysis of Transient Flow Modeling and Transient-Based Leak Detection in Elastic Water Pipeline Systems, *Water Resources Management*, Volume 29, pages 5413–5427,
- John D. Valiantzas , 2005, Modified Hazen–Williams and Darcy–Weisbach Equations for Friction and Local Head Losses along Irrigation Laterals, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering Archive* Vol. 131, No. 4
- Michael Volk, 2014, *Pump Characteristics and Applications*, 3rd, CRC Press, Taylor & Francis Group.
- R. A. Ibrahim, 2011, *Mechanics of Pipes Conveying Fluids—Part II: Applications and Fluidelastic Problems* , *J. Pressure Vessel Technol.* Apr 2011, 133(2): 024001 (30 pages)
- Wikipedia, *Pelabuhan Teluk Bayur*, 2024, https://id.wikipedia.org/wiki/Pelabuhan_Teluk_Bayur, 18-07-2024.
- Wissam H. Alawee, Yousef A. Almolhem, Badronnisa Yusuf, Thamer A. Mohammad, Hayder A. Dhahad, 2020, Variation of Coefficient of Friction and Friction Head Losses Along a Pipe with Multiple rOutlets, *Journals Water*, Volume 12. Issue 3, 10.3390/w12030844

Kajian Struktur Gedung Beton Berbentuk U Terbalik Terhadap Gempa dengan Perkuatan *Bracing*

Bima Husada¹⁾, Hendramawat Aski Safarizki²⁾, Marwahyudi³⁾, Rida Handiana Devi⁴⁾

^{1, 2, 4)} Program Studi Teknik Sipil, Universitas Veteran bangun Nusantara, Letjen Hoemardani No 1 Sukoharjo, 57521, Indonesia

³⁾GFY Research Group, Universitas Sahid Surakarta, Jl. Adisucipto No 154, Surakarta Indonesia

Email: bimhus@gmail.com, hendra.mawat@gmail.com, yudhie_dsg@yahoo.co.id, ridahandiana@gmail.com

ABSTRAK

Kemajuan teknologi dibidang kontruksi mampu merencanakan berbagai inovasi yang unik dan transformasi bentuk struktur bangunan di Indonesia. Namun, merencanakan struktur bangunan memungkinkan akan ada beberapa yang harus diselesaikan, salah satunya dengan inovasi gedung berbentuk U terbalik terhadap gempa, maka dengan dilakukan penambahan sebuah perkakuan *bracing* yang bertujuan dapat mengurangi pengaruh gempa pada gedung dengan metode analisis menggunakan software ETABS. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui apakah *bracing* tipe X dapat memengaruhi perkakuan pada Gedung U terbalik. Melihat hasil analisis simpangan antar lantai dinyatakan tidak aman maka harus dilakukan *bracing*. Setelah dilakukan penambahan *bracing* tipe X pada gedung U terbalik yang diletakan pada sudut-sudut gedung U terbalik mendapatkan hasil analisis simpangan antar lantai sangat signifikan dan dinyatakan aman. Dari hasil tersebut kesimpulannya bahwa *bracing* tipe X dapat menambah perkakuan pada gedung berbentuk U terbalik.

Kata kunci : *Bracing* tipe x Gedung U terbalik, Simpangan antar lantai

1. Pendahuluan

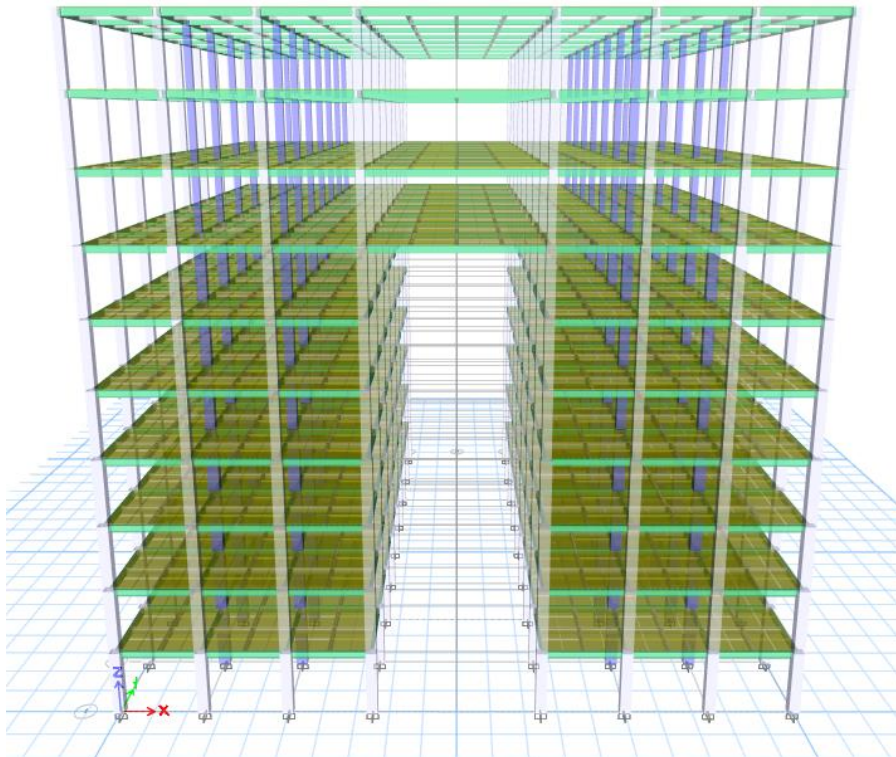
Salah satu penyebab keruntuhan bangunan adalah ketidakstabilan struktur. Saat mendesain suatu struktur, ketidakstabilan pada struktur merupakan hal dasar harus dihindari. Hal ini harus diperhatikan untuk berbagai jenis tinggi gedung. Struktur yang tidak stabil apabila menerima beban maka struktur tersebut mengalami perubahan bentuk (*deformasi*) yang lebih besar dibandingkan struktur yang stabil. Salah satu cara yang dapat dilakukan agar struktur menjadi lebih stabil adalah mengkombinasikan struktur dengan *bracing* (elemen pengaku). Sistem *bracing* dapat digunakan untuk menahan gaya vertikal seperti beban gravitasi dan gaya horisontal/gaya lateral seperti beban gempa, sehingga dapat mencegah goyangan berlebih pada struktur. Penggunaan *bracing* juga dimaksudkan agar saat terjadi gempa, gaya lateral yang mengenai struktur tidak hanya ditahan oleh elemen balok dan kolom pada struktur tetapi juga ditahan oleh sistem *bracing*. Namun, perlu diperhatikan penempatan *bracing* pada struktur yang berdiri di atas tanah miring karena penempatan *bracing* yang tidak tepat menyebabkan gaya geser yang terjadi pada kolom pendek lebih besar.

Bangunan bertingkat adalah bangunan yang mempunyai lebih dari satu lantai secara vertikal. Bangunan bertingkat ini dibangun berdasarkan keterbatasan tanah yang mahal di perkotaan dan tingginya tingkat permintaan ruang untuk berbagai macam kegiatan Tetapi perlu diperhatikan bahwa perencanaan bangunan bertingkat harus didesain dengan tepat. Salah satunya dengan mempertimbangkan apakah struktur mampu menahan beban-beban yang bekerja. Elemen Pengaku Portal (*Braced Frames Element*) adalah elemen struktur yang diletakan secara menyilang (diagonal) pada struktur portal, yang berfungsi untuk menopang/mengaku portal dalam menahan beban pada struktur (Nelwan dkk, 2018).

Baja dapat dikelompokkan berdasarkan kegunaannya, yaitu baja kontruksi dan baja non kontruksi. Baja konstruksi biasanya digunakan sebagai bahan untuk konstruksi bangunan dan bagian-bagian dari mesin. Ada beberapa keuntungan yang bisa didapat melalui penggunaan baja pada konstruksi bangunan, antara lain memiliki kekuatan yang tinggi, sifat homogenitas, elastisitas, daktilitas, awet, dan mudah dalam pemasangan dan pengerjaan (Sidara dkk, 2017).

Bracing pada struktur portal bertingkat banyak dinilai dapat meningkatkan kekakuan dan kekuatan struktur bangunan gedung tersebut, sehingga dapat menahan beban lateral akibat angin atau gempa, selain itu penggunaan *bracing* juga cenderung lebih efisien dan ekonomis (Anwar, 2016).

Desain struktur merupakan salah satu bagian dalam perencanaan bangunan. Dalam pelaksanaannya faktor sains dan seni yang mendasar. Pertama faktor sains / ilmu, dalam desain struktur memiliki pedoman dan peraturan desain di mana pedoman tersebut di pergunakan agar bangunan yang direncanakan layak pakai untuk manusia. Yang kedua unsur seni, dalam desain bangunan kita harus memperhatikan keindahan bangunan untuk mengkolaborasikan bangunan yang baru dengan lingkungan sekitar. Dalam penelitian ini, penulis meneliti Gedung U terbalik dengan pemilihan material menggunakan material beton bertulang. Alasan penulis mengambil studi kasus ini adalah Gedung ini memiliki karakteristik unik yaitu terdapatnya penambahan massa atau beban pada struktur bagian atas dari lantai 7-10.



Gambar 1. Rekayasa gedung U terbalik

Batasan masalah dan Tujuan

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah merencanakan struktur gedung beton berbentuk U terbalik dengan menggunakan *software* ETABS yang merancang struktur kolom, balok, dan plat lantai dan mengkonfigurasi letak *bracing* tipe X. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh *bracing* tipe X sebagai perkakuan pada Gedung U terbalik.

2. Metode penelitian

Pengumpulan data

Dalam proses pengumpulan data dimaksudkan untuk mendapatkan data-data yang dibutuhkan dalam pengerjaan pra-rencana *design*. Data-data tersebut akan menjadi acuan dalam melakukan perencanaan struktur. Data-data yang dibutuhkan meliputi kegunaan dari bangunan itu sendiri, lokasi struktur, jumlah lantai, tinggi tiap lantai, tingkat daktalitas struktur, kuat tekan beton yang digunakan, tinggi leleh baja tulangan yang digunakan, modulus elastisitas, gambar

struktur dari desain dan peraturan-peraturan yang digunakan sebagai dasar teori pada proses pengerjaan. Penentuan wilayah gempa suatu daerah sangatlah penting karena akan berpengaruh pada perilaku struktur tersebut, hal demikian bisa terjadi karena setiap wilayah gempa mempunyai peraturan yang berbeda dalam memperlakukan suatu perencanaan struktur.

Preliminary Desain Kolom, Balok, Plat Lantai dan Beban mati, hidup, gempa

Desain gambar ini merupakan desain gambar awal yang akan di pergunakan untuk memberikan gambaran model bangunan yang akan direncanakan. Dalam penelitian ini penulis merencanakan denah gambar bangunan U terbalik. Pemilihan bentuk tersebut dikarenakan karena penulis ingin mengamati perilaku dari stabilitas struktur terhadap gempa pada bangunan yang terdapat penambahan massa pada atas bangunan. Pada tahap desain maka kita harus memiliki tafsiran awal berdasar atas perhitungan secara empiris yang diajarkan pada mata kuliah yang struktur beton, maka dari itu sangatlah penting dimengerti dan dipahami mata kuliah tersebut, dimensi yang dihitung adalah pelat lantai, balok dan kolom. Dengan tujuan kita memiliki perkiraan ukuran awal dari data pembebanan yang direncanakan.

Dalam perhitungan beban, digunakan dua metode. metode manual dan metode dengan *software* ETABS. Penggunaan dua metode ini dimaksudkan agar mendapatkan perhitungan beban yang lebih akurat dan teliti dalam perencanaan. metode manual menggunakan rumus-rumus yang telah diajarkan pada mata kuliah struktur beton ataupun pada referensi buku beton yang lainnya. Sedangkan metode dengan menggunakan *software* menggunakan permodelan struktur ETABS yang secara otomatis terdistribusi secara langsung oleh *software* sesuai dengan input beban-beban pada *software* ETABS. Dalam menghitung beban, digunakan 2 metode yaitu metode manual dan metode dengan *software* ETABS, penggunaan metode ini bermaksud agar mendapatkan perhitungan beban yang lebih akurat menggunakan rumus-rumus yang telah diajarkan pada mata kuliah struktur beton bertulang ataupun referensi dai buku beton lainnya. Sedangkan, metode dengan penggunaan *software* ETABS secara otomatis terdistribusi langsung oleh *software* sesuai data input beban-beban yang telah terinputkan ke *software* ETABS.

Analisa Struktur

Analisa struktur di lakukan dengan bantuan *software* ETABS yang bertujuan mengetahui respons struktur akibat bekerjanya gaya luar struktur dari bangunan. Gaya luar yang akan di perhitungkan adalah gaya vertikal dari beban mati dan beban hidup, sedangkan gaya horizontal atau lateral dari beban gempa dan beban hujan. Dari hasil analisa akan mendapatkan nilai simpangan antar lantai yang terjadi dan dari nilai tersebut dapat dilihat simpangan antar lantai apakah gedung berbentuk U terbalik aman atau tidak jika tidak aman kemudian dilakukan penambahan pekakuan *bracing* tipe X. kemudian dilakukan lagi analisis simpangan antar lantai setelah penambahan *bracing* tipe X. Dari hasil perhitungan analisis simpangan antar lantai seteleah penambahan *bracing* tipe X dapat disimpulkan apakah *bracing* tipe X berpengaruh dalam perkakuan yang terjadi pada gedung U terbalik.

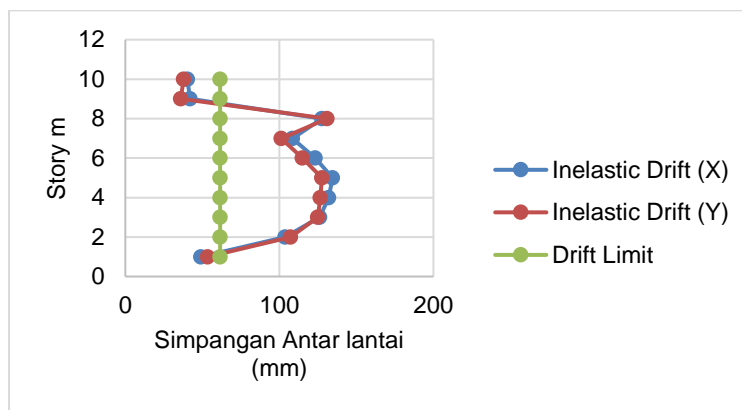
3. Hasil Dan Pembahasan

Tabel 1. hasil analisis simpangan antar lantai tanpa *bracing*

Story	Displacement		Elastic Drift		h (mm)	Inelastic Drift		Drift Limit (mm)	Cek X	Cek Y
	δ_{ex} (mm)	δ_{ey} (mm)	δ_{ex} (mm)	δ_{ey} (mm)		Δ_x (mm)	Δ_y (mm)			
10	179,482	174,666	7,320	6,898	4000	40,260	37,939	61,538	OK	OK
9	172,162	167,768	7,631	6,540	4000	41,971	35,970	61,538	OK	OK
8	164,531	161,228	23,204	23,820	4000	127,622	131,010	61,538	NOT OK	NOT OK
7	141,327	137,408	19,728	18,402	4000	108,504	101,211	61,538	NOT OK	NOT OK
6	121,599	119,006	22,397	20,896	4000	123,184	114,928	61,538	NOT OK	NOT OK
5	99,202	98,11	24,462	23,199	4000	134,541	127,595	61,538	NOT OK	NOT OK

4	74,74	74,911	24,015	23,000	4000	132,083	126,500	61,538	NOT OK	NOT OK
3	50,725	51,911	22,938	22,702	4000	126,159	124,861	61,538	NOT OK	NOT OK
2	27,787	29,209	18,858	19,509	4000	103,719	107,300	61,538	NOT OK	NOT OK
1	8,929	9,7	8,929	9,700	4000	49,110	53,350	61,538	OK	OK

Setelah selesai melakukan permodelan gedung berbentuk U terbalik dengan menggunakan *software* etabs 18 dan memasukkan data input pembebanan, kemudian dilakukan analisis simpangan antar lantai pada gedung berbentuk U terbalik. Dari hasil analisis mendapatkan sebuah hasil terjadinya simpangan antar lantai dari lantai 2-8 bahwa gedung berbentuk U terbalik tidaklah aman karena hasil perhitungan *inelastic drift* dari arah X maupun arah Y melebihi *drift limit* hal ini terjadi karena terdapatnya penambahan massa atau beban pada bagian struktur atas pada lantai 7-10. Pada bagian ini sangat berpengaruh karena adanya sebuah struktur balok dan plat lantai yang membentang sepanjang 10m menghubungkan antar sisi gedung dengan sisi gedung satunya pada lantai 7- 10 arah x tanpa adanya sebuah kolom yang menyangga. Di bawah ini dapat dilihat hasil grafik simpangan antar lantai y.

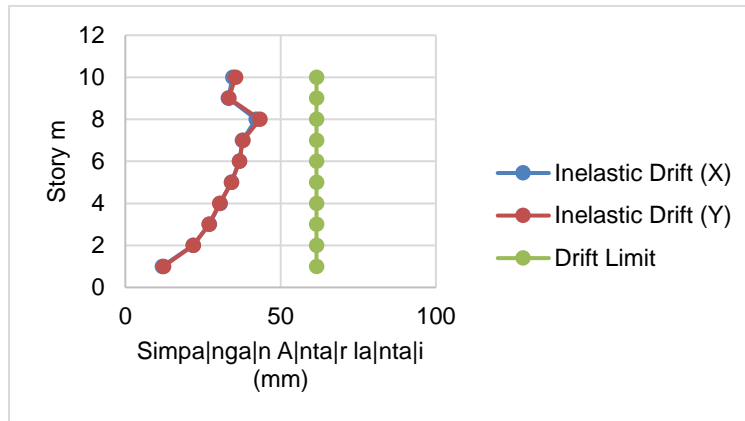


Gambar 2. Grafik hasil simpangan tanpa bracing

Tabel 2. hasil analisis simpangan antar lantai dengan bracing

Story	Displacement		Elastic Drift		h	Inelastic Drift		Drift Limit	Cek x	Cek y
	δ_{ex} (mm)	δ_{ey} (mm)	δ_{ex} (mm)	δ_{ey} (mm)		Δ_x (mm)	Δ_y (mm)			
10	56,299	56,793	6,277	6,453	4000	34,524	35,492	61,538	OK	OK
9	50,022	50,34	6,028	6,052	4000	33,154	33,286	61,538	OK	OK
8	43,994	44,288	7,653	7,880	4000	42,092	43,340	61,538	OK	OK
7	36,341	36,408	6,855	6,892	4000	37,703	37,906	61,538	OK	OK
6	29,486	29,516	6,687	6,685	4000	36,779	36,768	61,538	OK	OK
5	22,799	22,831	6,215	6,202	4000	34,183	34,111	61,538	OK	OK
4	16,584	16,629	5,549	5,524	4000	30,520	30,382	61,538	OK	OK
3	11,035	11,105	4,914	4,893	4000	27,027	26,912	61,538	OK	OK
2	6,121	6,212	3,965	3,972	4000	21,808	21,846	61,538	OK	OK
1	2,156	2,24	2,156	2,240	4000	11,858	12,320	61,538	OK	OK

Maka dari itu penambahan *bracing* pada gedung berbentuk U terbalik harus dilakukan dan penambahan *bracing* tipe X yang bertujuan menambahkan perkakuan dan diletakkan pada sudut-sudut gedung. Dari hasil analisis simpangan antar lantai pada gedung berbentuk U terbalik mendapatkan sebuah hasil bahwa gedung berbentuk U terbalik dinyatakan aman karena hasil perhitungan *inelastic drift* tidak melebihi *drift limit*. Penambahan *bracing* pada gedung berbentuk U terbalik sangatlah berpengaruh terhadap perkakuannya.



Gambar 3. Grafik hasil simpangan bracing

4. Simpulan

Berdasarkan analisis simpangan antar lantai yang terjadi tanpa mengaplikasikan pemasangan *bracing* hasilnya tidak aman karena penambahan massa atau beban pada lantai 7-10 yang menghasilkan nilai *inelastic drift* arah X dan Y lebih besar dibandingkan *drift limit*-nya. Maka penambahan *bracing* tipe X dilakukan pada area sudut-sudut gedung U terbalik. Dari hasil analisis simpangan antar lantai yang terjadi setelah penambahan *bracing* sangatlah signifikan dan hasil *inelastic drift* arah X menurun dengan rata-rata 62% dan arah Y menurun dengan rata-rata 60% dan gedung berbentuk U terbalik dinyatakan aman. Berdasarkan hasil penelitian adapun saran yang perlu dikembangkan dalam penelitian ini adalah melanjutkan jenis perakuan *bracing* selain tipe X dan menambahkan studi tentang fondasi.

Daftar Pustaka

- Anwar, M. 2016. Modifikasi Perencanaan Struktur Hotel Persona Gresik Dengan Menggunakan Rangka Berpengaku Eksentris. Undergraduate thesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Badan Standardisasi Nasional. 2019. *Ketentuan Seismik untuk Struktur Baja Bangunan Gedung: SNI 7860:2015, Jakarta, Indonesia.*
- Badan Standardisasi Nasional. 2019. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung: SNI 1726:2019, Jakarta, Indonesia.*
- Nelwan, I. T., Wallah, S. E., & Dapas, S. O., 2018. Respon Dinamis Bangunan Bertingkat Banyak dengan Soft First Story dan Penggunaan Braced Frames Element terhadap Beban Gempa. *Jurnal Sipil Statik* Vol.6 No.3, Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi, Manado
- Sidara, S. C. X, Sumajouw, M. D. J., Pandaleke, R., 2017. Evaluasi Kekuatan Balok Beton Bertulang dengan Balok Komposit Baja Menggunakan Floor Deck. *Jurnal Sipil Statik* Vol.5 No.9, Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi, Manado.

Optimalisasi Pekerjaan Badan Jalan Kereta Api antara Stasiun Barru – Stasiun Garongkong

Dasa Aprisandi*¹⁾

¹⁾Teknik sipil, Fakultas Teknik, Institut Sains dan Teknologi Nasional, Jl. Moch. Kahfi II, Jakarta, 12620, Indonesia
Email: dasa@istn.ac.id

ABSTRAK

Pembangunan jalur kereta api Trans Sulawesi lintas Makassar - Parepare menggunakan timbunan tanah yang cukup tinggi, dengan ketinggian lima hingga tujuh meter. Adanya lahan yang belum bebas membuat kontraktor harus membuat strategi agar pekerjaan dapat selesai tepat waktu. Metode penelitian ini yaitu membandingkan produktivitas alat berat pada kondisi normal dengan kondisi setelah melakukan penambahan alat berat. Analisis yang dibahas adalah menentukan total volume tanah yang dibutuhkan dan waktu pelaksanaan kemudian dioptimalkan dengan penambahan alat berat dan waktu. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui biaya dan waktu pelaksanaan yang optimum. Penambahan alat berat dioptimasi menjadi 10 unit *excavator*, 8 unit *vibro roller* dan 76 unit *dump truck*. Waktu pelaksanaan semula adalah 196,2 hari dengan biaya Rp. 8.319.374.000 dapat dioptimalkan menjadi 128 hari kalender dengan biaya Rp. 7.978.637.440, sehingga waktu penyelesaian lebih cepat dan biaya pelaksanaan menjadi lebih murah.

Kata kunci: alat berat, biaya, optimalisasi, waktu

1. Pendahuluan

Pembangunan jalur kereta api Makassar – Parepare menggunakan konstruksi *at grade* yaitu badan jalan kereta api berada di atas tanah dasar. Tanah dasar *existing* dikupas terlebih dahulu kemudian dilakukan penimbunan dan pemadatan tanah dengan ketinggian berkisar lima sampai tujuh meter. Badan jalan kereta api cukup tinggi dari permukaan tanah dasar dikarenakan pada jalur kereta api ini tidak ada perlintasan sebidang yang berpotensi menimbulkan kecelakaan di perlintasan dan mengganggu perjalanan kereta api.

Pembangunan *sidding track* ke arah Pelabuhan Garongkong dalam pelaksanaan pembangunannya memiliki beberapa kendala yang menghambat selama konstruksi, di antaranya ada beberapa lahan yang belum bebas, kondisi tanah dasar yang kurang baik, dan permintaan akses jalan petani di sekitar jalur KA untuk memudahkan aktivitas mereka. Lahan yang belum bebas sudah masuk dalam tahap konsinyasi yang merupakan ranahnya Pengadilan Tinggi Provinsi Sulawesi Selatan. Perbaikan tanah dasar juga harus dilakukan karena berdasarkan hasil pengujian tanah, didapatkan kondisi tanah yang kurang baik sehingga perlu dilakukan metode khusus untuk memperbaiki kondisi tanah tersebut. Kelompok Tani di Kecamatan Mangempang juga menuntut adanya *underpass* jalan tani, dan *box culvert* untuk pengairan irigasi agar tidak mengganggu produktivitas pertanian mereka.

Adanya kendala-kendala seperti di atas membuat *progress* pekerjaan menjadi terlambat, dan membuat biaya pelaksanaan pekerjaan menjadi bertambah. Pemberi kerja memberi tambahan waktu pelaksanaan kepada kontraktor selama 90 hari dan menginstruksikan untuk mengajukan perubahan item pekerjaan agar dapat mengakomodasi keinginan para petani dengan tidak menambah biaya tambahan dari pemberi kerja.

Beberapa referensi utama mengenai topik ini mencakup Metode *Crashing* yaitu teknik yang digunakan untuk mempercepat durasi proyek dengan menambahkan sumber daya seperti tenaga kerja atau jam kerja lembur, yang dapat meminimalkan durasi tanpa mengurangi kualitas. Implementasi metode tersebut sangat bergantung pada analisis detail dari masing-masing

proyek, termasuk identifikasi tugas-tugas kritis, alokasi sumber daya, dan evaluasi biaya tambahan yang diperlukan untuk percepatan.

Penelitian sejenis sebelumnya telah dilakukan oleh Muhammad Haykal, et al (2024) yang menghasilkan manajemen alat berat serta pemilihan metode pemanfaatannya perlu untuk diperhatikan agar dapat menghemat biaya terhadap pengoperasiannya. Waktu pekerjaan yang dihasilkan dengan menerapkan pola pemuatan *parallel cut with turn and back (double stopping)* sebesar 159 hari, dan hasil analisa diperoleh pola pemuatan *double stopping* ini dapat menekan waktu siklus kerja alat berat sehingga meningkatkan produktivitas harian alat berat lebih cepat 25 hari dari durasi atau waktu rencana sebesar 184 hari kerja. Singkatnya durasi penyelesaian pekerjaan proyek menghasilkan biaya yang dikeluarkan semakin hemat. Pola pemuatan yang diterapkan sampai selesai diperoleh penghematan penggunaan alat berat sebesar Rp. 369,636,550.82.-.

Penelitian ini mengambil topik tentang optimalisasi pekerjaan badan jalan kereta api antara Stasiun Barru – Stasiun Garongkong dengan tujuan mendapatkan biaya dan waktu yang optimum.

2. Metode

Metode yang digunakan dalam penulisan ini adalah metode penelitian kuantitatif dengan keterangan deskriptif. Yaitu metode penelitian dengan metode survei yang dalam mengumpulkan data dengan perlakuan seperti tes atau wawancara terstruktur untuk mendapatkan data atau variabel. Wawancara dilakukan pada beberapa tenaga ahli yang terlibat pada proyek tersebut seperti dari perwakilan kontraktor, konsultan maupun pemberi kerja. Pertanyaan yang diajukan berupa kendala dan strategi dalam mengatasi permasalahan. Studi kepustakaan juga dilakukan dengan mencari data informasi dari beberapa penelitian dan literatur-literatur yang berkaitan dengan tata letak fasilitas dan juga tentang alat-alat berat, metode kerja penimbunan dan pemadatan tanah, waktu siklus, dan faktor yang mempengaruhi efektivitas alat berat. Studi kasus pada proyek ini untuk mendapatkan gambaran secara detail yang dilakukan oleh kontraktor pelaksana.

Analisis yang dilakukan dengan menghitung produktivitas alat berat pada pekerjaan penimbunan dan pemadatan tanah untuk badan jalan kereta api. Alat berat yang digunakan seperti *excavator, bulldozer, vibro roller* dan *dump truck*. Produktivitas yang dihitung dalam kondisi normal kemudian dilakukan optimalisasi dengan penambahan alat berat untuk mendapatkan biaya dan waktu pelaksanaan. Hasil analisis hanya mendapatkan untuk pekerjaan penimbunan tanah dan pemadatan badan jalan kereta api saja, tidak untuk semua pekerjaan.

Lokasi penelitian berada di Kecamatan Mangempang Kabupaten Barru Provinsi Sulawesi Selatan pada Km.0+000 s.d. Km.1+900P yang merupakan jalur kereta api lintas Makassar – Parepare pada petak Stasiun Barru – Stasiun Garongkong.

3. Hasil dan Pembahasan

Studi kasus dilakukan pada proyek pembangunan jalan kereta api lintas Makassar – Parepare pada Km.0+000 s.d. Km.1+900 P sepanjang 1,9 kilometer. Kondisi lahan di sini adalah sawah-sawah milik warga dan di beberapa lokasi tertentu terdapat tanah lunak yang harus dilakukan perbaikan tanah dasar. Pekerjaan badan jalan menggunakan timbunan tanah yang memiliki tahapan pekerjaan seperti : pengukuran, *stripping* tanah dasar, perbaikan tanah dasar, dan penimbunan tanah yang dipadatkan. Ketinggian tanah timbunan bervariasi antara 5 sampai 7 meter dengan volume total 311,494.92 m³. Dalam proses pekerjaan badan jalan ini diperlukan alat berat *excavator, bulldozer, vibro roller*, dan *dump truck*.

Produktivitas Alat

Excavator

Dimana pada perhitungan ini menggunakan *excavator* dengan kapasitas *bucket* 0.9m³ untuk pekerjaan *stripping* tanah dasar, pemancangan *dolken*, dan *stripping* lereng timbunan.

Produksi *excavator* :

$$Q_e = \frac{q \times 60 \times E}{CT} \quad (1)$$

Perhitungan *job factor* :

1. Faktor gabungan cuaca dan operator (FCO) digunakan 0,783. Dikarenakan cuaca di lokasi proyek terang, panas, dan berdebu. Dan operator diasumsikan baik.
2. Faktor gabungan alat dan medan (FAM) digunakan 0,805. Pada kondisi ini alat diasumsikan dalam kategori ringan.
3. Faktor material (FM) diambil 1,20. Pada pekerjaan ini tingkat pekerjaan yang dilakukan *excavator* adalah mudah.
4. Faktor besaran traksi (FBT) diambil 0,9. Pada pekerjaan ini jenis permukaan tanah liat lempung.

Sehingga *job factor* :

$$\begin{aligned} E &= FCO \times FAM \times FM \times FBT \\ &= 0.783 \times 0.805 \times 1.20 \times 0.9 \\ &= 0.681 \end{aligned}$$

Waktu siklus

Excavator pada pemuatan material melakukan empat gerakan/empat komponen waktu yaitu :

- a. Waktu mengisi *bucket*
- b. Waktu putar bermuatan
- c. Waktu membongkar beban
- d. Waktu putar kosong

Dalam penelitian ini diambil waktu siklus (CT) sebesar 0,35 menit dengan asumsi sudut buang 180 dan kapasitas *bucket* 0.9 m³. faktor kedalaman *stripping*/galian juga mempengaruhi waktu siklus. Faktor galian dapat dihitung dengan rumus :

$$R = 400/900 = 44 \%$$

$$R = 0.8$$

$$\text{Jadi waktu siklus} = 0.35 \times 0.8 = 0.31 \text{ menit}$$

Sehingga produktivitas *excavator* per jam dapat dihitung sebagai berikut :

$$Q_e = \frac{q \times 60 \times E}{CT} \quad (1)$$

$$Q_e = \frac{(q_l \times K) \times 60 \times E}{0.31} = \frac{(0.9 \times 0.6) \times 60 \times 0.681 E}{0.31} = 88.935 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Produktivitas *excavator* per hari = 88.935 m³/jam x 8 jam = 711.48 m³

Bulldozer

Di mana pada perhitungan ini menggunakan *bulldozer* dengan spesifikasi :

Tenaga penggerak (Pw) 75 HP, Lebar pisau (L) 3.175 m, Tinggi pisau (H) 1.3m, Kapasitas pisau (q) 5,4 m³.

Kapasitas produksi/jam, untuk meratakan :

$$Q = ((1 \times \{n(L - L_0) + L_0\} \times F_b \times F_m \times F_a \times 60) / (N \times n \times TS)) \quad (2)$$

$$Q = ((30 \times \{5(3.175 - 0.3) + 0.3\} \times 1 \times 1 \times 0.83 \times 60) / (1 \times 5 \times 1))$$

$$Q = 4298.24 \text{ m}^2/\text{jam}$$

Kapasitas produksi/hari, untuk meratakan : 4298.24m²/jam x 8 jam = 39,425.92 m²

Vibro roller

Kapasitas produksi/jam, untuk memadatkan :

$$Q = \frac{W \times V \times H \times 1000 \times E}{N} \quad (3)$$

$$Q = \frac{0.8 \times 1.6 \times 0.4 \times 1000 \times 0.9}{8} = 57.6 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}}$$

Kapasitas produksi/hari, untuk memadatkan : 57.6 m³/jam x 8 jam = 460.8 m³

Dump truck

Dump truck digunakan untuk mengangkut tanah dari lokasi *quary* ke lokasi proyek pekerjaan timbunan. Adapun *dump truck* yang digunakan adalah kapasitas 20m³.

Produksi excavator :

Perhitungan *job factor* :

- Faktor gabungan cuaca dan operator (FCO) digunakan 0,783. Dikarenakan cuaca dilokasi proyek terang, panas, dan berdebu. Dan operator diasumsikan baik.
- Faktor gabungan alat dan medan (FAM) digunakan 0,805. Pada kondisi ini alat diasumsikan dalam kategori ringan.
- Faktor material (FM) diambil 1,20. Pada pekerjaan ini tingkat pekerjaan yang dilakukan *excavator* adalah mudah.
- Faktor besaran traksi (FBT) diambil 0,56. Pada pekerjaan ini jenis permukaan tanah datar tanpa perkerasan.

Sehingga *job factor* :

$$\begin{aligned} E &= FCO \times FAM \times FM \times FBT \\ &= 0.783 \times 0.805 \times 1.20 \times 0.56 \\ &= 0.514 \end{aligned}$$

Waktu untuk mengangkut material ;

- Jarak angkut *dump truck* (D1) = 15 km
- Kecepatan rata-rata *dump truck* bermuatan (V1) = 40 km/jam
- Jadi waktu untuk mengangkut material = $15/40 \times 60 = 22.5$ menit

Waktu yang dibutuhkan untuk posisi pengisian :

Waktu buang = 2 menit

Waktu tunggu = 3 menit

Waktu kembali:

Jarak angkut *dump truck* (D2) = 15 km

Kecepatan rata-rata *dump truck* bermuatan (V2) = 60 km/jam

Jadi waktu untuk mengangkut material = $15/60 \times 60 = 15$ menit

Jadi waktu siklus :

$$CTD = n \times CTE + \frac{D1}{V1} + t1 + \frac{D2}{V2} + t2 \quad (4)$$

$$CTD = 20.535 + 22.5 + 15 + 2 + 3 = 63.035 \text{ menit}$$

Jadi produktivitas satu unit *dump truck* = 7 rit x 20 m³ = 140 m³

Tabel 1. Rekapitulasi produktivitas alat berat

Alat Berat	Produktivitas per hari
<i>Excavator</i>	711.48 m ³
<i>Bulldozer</i>	39,425.92 m ²
<i>Vibro Roller</i>	460.8 m ³
<i>Dump Truk</i>	140 m ³

Menghitung Waktu Pekerjaan

Berdasarkan perhitungan produktivitas masing-masing alat berat di atas, maka dapat didapat waktu penyelesaian pekerjaan. Di sini akan diulas durasi pekerjaan dengan jadwal pelaksanaan yang telah ditentukan oleh pelaksana proyek.

Optimalisasi Penambahan Alat Berat

Excavator

Berdasarkan perhitungan produktivitas alat berat *excavator* per hari adalah 711.48 m³. *Excavator* digunakan untuk pekerjaan *stripping* tanah sedalam 50 cm dengan volume sesuai kontrak adalah 29,078.395 m³. Penyelesaian pekerjaan *stripping* tanah, dapat dijabarkan sesuai perhitungan di bawah ini :

$$29,078.395 \text{ m}^3 : 711.48 \text{ m}^3 = 41 \text{ unit } \textit{excavator} \text{ jika dikerjakan dalam 1 hari.}$$

Sedangkan excavator yang dapat disiapkan oleh kontraktor pelaksana adalah 4 unit. Sehingga : $4 \times 711.48 \text{ m}^3 = 2845,92 \text{ m}^3/\text{hari}$. Jadi total waktu pelaksanaan yang dapat diselesaikan dengan 4 unit *excavator* adalah : $29,078.395 \text{ m}^3 : 2845,92 \text{ m}^3 = 10,2$ hari. Pihak pemilik proyek menginginkan pekerjaan *stripping* tanah dapat diselesaikan dalam waktu 7 hari, sehingga *excavator* yang harus disiapkan adalah :

$$29,078.395 \text{ m}^3 : 7 \text{ hari} = 4155 \text{ m}^3$$

$$4155 \text{ m}^3 : 711.48 \text{ m}^3 = 5.8 \text{ dibulatkan menjadi } 6 \text{ unit } \textit{excavator}.$$

Sedangkan untuk pekerjaan galian tanah adalah :

$$7,413.79 \text{ m}^3 : 7 \text{ hari} = 2471.26 \text{ m}^3$$

$$2471.26 \text{ m}^3 : 711.48 \text{ m}^3 = 3.47 \text{ dibulatkan menjadi } 4 \text{ unit } \textit{excavator}$$

Vibro Roller

Berdasarkan perhitungan produktivitas alat berat *vibro roller* per hari adalah 460.8 m^3 . *Vibro roller* digunakan untuk pekerjaan pemadatan timbunan tanah CBR 10 dan CBR 6 tanah dengan volume sesuai kontrak adalah 6050 m^3 dan $311,494.92 \text{ m}^3$ sehingga totalnya adalah $317,544.92 \text{ m}^3$. Penyelesaian pekerjaan, dapat dijabarkan sesuai perhitungan di bawah ini :

$$317,544.92 \text{ m}^3 : 460.8 \text{ m}^3 = 690 \text{ unit } \textit{vibro roller} \text{ jika dikerjakan dalam } 1 \text{ hari.}$$

Sedangkan *vibro roller* yang dapat disiapkan oleh kontraktor pelaksana adalah 5 unit. Sehingga : $5 \times 460.8 \text{ m}^3 = 2304 \text{ m}^3/\text{hari}$. Jadi total waktu pelaksanaan yang dapat diselesaikan dengan 5 unit *vibro roller* adalah : $317,544.92 \text{ m}^3 : 2304 \text{ m}^3 = 138$ hari. Pihak pemilik proyek menginginkan pekerjaan pemadatan tanah dapat diselesaikan dalam waktu 90 hari, sehingga *bulldozer* yang harus disiapkan adalah :

$$317,544.92 \text{ m}^3 : 90 \text{ hari} = 3528.3 \text{ m}^3$$

$$3528.3 \text{ m}^3 : 460.8 \text{ m}^3 = 7.7 \text{ dibulatkan menjadi } 8 \text{ unit } \textit{bulldozer}.$$

Dump Truck

Berdasarkan perhitungan produktivitas *dump truck* perhari adalah 140 m^3 . *Dump truck* digunakan untuk pekerjaan pengiriman timbunan tanah CBR 10 dan CBR 6 tanah dengan volume sesuai kontrak adalah 6050 m^3 dan $311,494.92 \text{ m}^3$ sehingga totalnya adalah $317,544.92 \text{ m}^3$. Penyelesaian pekerjaan, dapat dijabarkan sesuai perhitungan di bawah ini :

$$317,544.92 \text{ m}^3 : 140 \text{ m}^3 = 2269 \text{ unit } \textit{dump truck} \text{ jika dikerjakan dalam } 1 \text{ hari.}$$

Sedangkan *dump truck* yang dapat disiapkan oleh kontraktor pelaksana adalah 60 unit. Sehingga : $60 \times 140 \text{ m}^3 = 8400 \text{ m}^3/\text{hari}$. Jadi total waktu pelaksanaan yang dapat diselesaikan dengan 60 unit *dump truck* adalah : $317,544.92 \text{ m}^3 : 8400 \text{ m}^3 = 37.8$ hari. Pihak pemilik proyek menginginkan pekerjaan pemadatan tanah dapat diselesaikan dalam waktu 30 hari, sehingga *dump truck* yang harus disiapkan adalah :

$$317,544.92 \text{ m}^3 : 30 \text{ hari} = 10585 \text{ m}^3$$

$$10585 \text{ m}^3 : 140 \text{ m}^3 = 75.6 \text{ dibulatkan menjadi } 76 \text{ unit } \textit{dump truck}$$

Tabel 2. Perbandingan Jumlah Alat Berat (unit)

Alat Berat	Jumlah (unit)	
	N	O
<i>Excavator</i>	4	6
<i>Excavator</i>	1	4
<i>Vibro Roller</i>	5	8
<i>Dump truck</i>	60	76

Keterangan : N= Normal , O= Optimalisasi

Tabel 3. Perbandingan Waktu Pelaksanaan (hari)

Pekerjaan	Waktu Normal	Setelah Optimalisasi
Stripping 50 cm	10,2	7
Galian tanah	10,2	1
Timbunan tanah	138	90
Pemadatan	37.8	30
Total	196.2	128

Perhitungan Biaya

Biaya alat berat dihitung berdasarkan biaya sewa ditambah dengan mobilisasi dan demobilisasi dengan rincian :

Excavator

biaya sewa per jam = Rp. 501,075

biaya mobilisasi dan demobilisasi = Rp. 5,000,000

biaya sewa per hari = 8 jam x Rp. 501,075 = Rp. 4,008,600

Bulldozer

biaya sewa per jam = Rp. 538,985

biaya mobilisasi dan demobilisasi = Rp. 5,000,000

biaya sewa per hari = 8 jam x Rp. 538,985 = Rp. 4,311,880

Vibro roller

biaya sewa per jam = Rp. 742,969

biaya mobilisasi dan demobilisasi = Rp. 5,000,000

biaya sewa per hari = 8 jam x Rp. 742,969 = Rp. 5,943,752

Dump truck

biaya sewa per jam = Rp. 159,000

biaya mobilisasi dan demobilisasi = Rp. 5,000,000

biaya sewa per hari = 8 jam x Rp. 159,000 = Rp. 1,272,000

Dalam kondisi normal terdapat biaya *excavator* sejumlah Rp. 755,599,600, biaya *bulldozer* Rp.552,425,600, biaya *vibro roller* Rp.4,106,188,880, dan *dump truck* Rp.2,905,160,000. Hasil

analisis setelah optimalisasi menjadi biaya *excavator* Rp. 266,550,400, *bulldozer* Rp. 522,425,600, biaya *vibro roller* Rp. 4,284,501,440, dan *dump truck* Rp. 2,905,160,000.

Jadi jika tidak ada penambahan alat berat menghabiskan biaya pekerjaan sebesar Rp. 8,319,374,000 sedangkan dengan penambahan alat berat biaya pekerjaan sebesar Rp. 7,978,637,440 dapat menghemat sebesar Rp. 340,736,560 atau 4.01 %.

Penambahan alat berat *excavator* menghasilkan biaya yang lebih rendah dari kondisi normal, karena semakin bertambah alat maka waktu penyelesaian menjadi lebih cepat. Sedangkan pada alat berat *vibro roller* justru biaya semakin bertambah. Alat berta *bulldozer* dan *dump truck* memiliki biaya yang sama dengan kondisi normal.

Hasil analisis optimalisasi alat berat pada pekerjaan penimbunan dan pemadatan tanah badan jalan kereta api menunjukkan bahwa waktu pelaksanaan menjadi lebih cepat. Apabila tidak dilakukan optimalisasi akan membutuhkan waktu penyelesaian selama 196 hari, sedangkan setelah dilakukan optimalisasi menjadi 128 hari.

Simpulan

1. Berdasarkan perhitungan optimalisasi yang dilakukan, didapat bahwa adanya penambahan alat berat berupa *excavator* 10 unit, *vibro roller* 8 unit, dan *dump truck* 76 unit. Waktu pelaksanaan yang semula 196,2 hari dapat dioptimalisasi menjadi 128 hari kalender, sehingga waktu penyelesaian menjadi lebih cepat.
2. Biaya pekerjaan sebelum dioptimalisasi sebesar Rp. 8,319,374,000 sedangkan setelah dioptimalisasi sebesar Rp. 7,978,637,440 dapat menghemat sebesar Rp. 340,736,560 atau 4.01 %.

Daftar Pustaka

- Ahmad Kholil. (2012). *Alat Berat*. PT. Remaja Rosdakarya Offset. Bandung.
- Ayusha, Joko Setiono, Suhariyanto. (2023). *Optimasi Penggunaan Alat Berat (Studi Kasus : Pekerjaan Galian dan Timbunan Pembangunan Landfill Cella ERIC-I Jombang)*. JOS-MRK, Volume 4 Nomor 1 Maret 2023, 166-173.
- Ervianto, W. (2015). *Manajemen Proyek Konstruksi Edisi Revisi*. Andi. Yogyakarta.
- Haykal, M, & Kusman, M.R. (2024). Optimalisasi Produktivitas dan Biaya Penggunaan Alat Berat pada Pekerjaan Galian untuk Saluran Drainase Proyek Pelebaran Jalan Batu Aji – Kuaro Kalimantan Timur. *Jurnal Teknik SILITEK*, 4(01), 7-13. <https://doi.org/10.51135/jts.v4i01.121>
- I Komang Alit Aprinata, dkk. (2023). *Alternatif Alat Berat pada Pembangunan Hotel Samara Kota Batu*. Seminar Nasional 2023, Sinergitas Era Digital 5.0 dalam Pembangunan Teknologi Hijau Berkelanjutan, ISSN 2406-9051.
- Rahardyan, RB, dkk. (2022). *Optimasi Penggunaan Alat Berat pada Proyek Pembangunan Bendungan Bendo Ponorogo*. *Jurnal Online Skripsi Manajemen Rekayasa Konstruksi Polinema*. Volume 3, Nomor 2, Halaman 80-86.
- Zulkarnaen, Fitrayuddin. (2023). *Optimasi Pindahkan Tanah Mekanis untuk Meningkatkan Kinerja Waktu dan Biaya (Studi kasus: Proyek Jalan Lingkar Selatan Lunyuk)*. *Jurnal Sainteka*, Volume 4 No 3 Oktober 2023, 9-14.
- Zurkiyah, Narwan Hidayat. (2020). *Studi Optimasi Waktu dan Biaya Alat Berat Pada Pekerjaan Pondasi Dengan Metode Time Cost Trade Off Pada Project Pembangunan Terminal LPG Pressurized 4 X 3000 MT Medan-Belawan*. *Progress in Civil Engineering Journal*, Volume 2 Nomor 1 2020, 1-7.

Pelat Shell Tipis Sebagai Alternatif Sistem Lantai Yang Eko-Efisien

Amin Sumadyo*¹⁾, Sri Yuliani²⁾, Purwanto Setyo Nugroho³⁾

¹⁾ Prodi Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir Sutami 36A Ketingan Jebres Surakarta, 57126, Indonesia

²⁾ Grup Riset Arsitektur Berkelanjutan, Prodi Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir Sutami 36A Ketingan Jebres Surakarta, 57126, Indonesia

³⁾ Grup Riset Arsitektur Berkelanjutan, Prodi Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir Sutami 36A Ketingan Jebres Surakarta, 57126, Indonesia

E-mail: amiensumadyo@staff.uns.ac.id, sriyuliani71@staff.uns.ac.id, purwantosetyonugroho@staff.uns.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini mengusulkan penggunaan pelat shell tipis sebagai alternatif sistem lantai ringan yang eko-efisien dalam konstruksi. Ekonomis dalam menekan biaya konstruksi, dan efisien dalam kinerja strukturnya. Tujuannya adalah mendapatkan desain alternatif sistem lantai pada bangunan bertingkat. Penggunaan beton shell tipis dengan perkuatan serat fiber digunakan untuk mengurangi emisi karbon tanpa mengurangi kekuatan strukturalnya. Dua desain lantai, plat lantai beton *waffle* konvensional dan plat lantai beton shell *hyperbolic paraboloid (hypar)*, dibandingkan dalam penelitian ini. Hasil menunjukkan bahwa plat lantai *hypar* memiliki berat beton yang lebih rendah dan lebih efisien dalam penggunaan material. Analisis numerik menggunakan perangkat lunak ANSYS R2 menunjukkan bahwa struktur *hypar* mampu menahan beban dan memiliki stabilitas yang memadai sesuai dengan standar yang diizinkan. Dengan pendekatan inovatif ini, penelitian ini menawarkan solusi untuk mengurangi dampak lingkungan dari industri konstruksi dan mendorong perubahan paradigma dalam desain dan konstruksi bangunan.

1. Pendahuluan

Sektor konstruksi merupakan kontributor utama dalam emisi karbon global. Produksi beton dan baja, yang merupakan material utama dalam konstruksi, mengakibatkan emisi karbon yang signifikan. Beton diperkirakan memakan 8% dari emisi CO₂ global, sementara baja memakan 9%, dengan sekitar setengah dari total emisi baja diperuntukkan untuk industri konstruksi (Mangabhai et al., 2019). Beberapa usaha guna menekan laju emisi karbon sudah direkomendasikan, diantaranya mengurangi volume beton, mengurangi kandungan PC dalam beton, dan mengurangi kandungan klinker dalam bahan semen (Findik, 2022)

Dalam konteks ini, inovasi dalam desain dan material struktur menjadi kunci untuk mengubah paradigma konstruksi. Pendekatan ekologi dan efisiensi/eko-efisien diterapkan untuk mengurangi penggunaan sumber daya alam, meningkatkan efisiensi energi, dan mengurangi dampak lingkungan dari proses konstruksi dan penggunaan bangunan. Tantangan utama yang dihadapi industri konstruksi adalah bagaimana mengintegrasikan inovasi dan efisiensi tanpa mengorbankan kualitas kekuatannya. Ini memerlukan pendekatan komprehensif dari sisi disiplin *engineering*, yang mempertimbangkan aspek material, perilaku struktur, hingga pelaksanaan di lapangan.

Jurnal ini membahas bagaimana inovasi geometri plat lantai mampu memberikan efisiensi pengurangan volume beton, dengan tidak mengurangi kekuatan fungsi struktur. Penggunaan material seperti beton shell tipis dengan perkuatan serat fiber merupakan strategi untuk mengurangi karbon yang terkandung dalam desain struktural. Penelitian bertujuan untuk mendapatkan desain alternatif sistem lantai pada bangunan bertingkat.

Pentingnya Struktur Ramah Karbon

Inovasi dalam struktur ramah karbon adalah kunci untuk mengurangi dampak lingkungan dari industri konstruksi. Berikut adalah beberapa pendekatan inovatif yang dapat digunakan untuk menciptakan struktur yang lebih efisien secara karbon. Optimisasi Desain Struktural, menggunakan teknik desain yang meminimalkan jumlah material yang diperlukan tanpa mengurangi kekuatan struktural. Yang kedua, menggunakan perkuatan Tekstil, menggunakan bahan Textile Reinforced Concrete / TRC untuk menciptakan struktur yang lebih ringan dan lebih kuat, yang dapat mengurangi jumlah material yang diperlukan.

Usaha untuk mengefisienkan penggunaan volume material, mengambil ide kekuatan bentuk lengkung sebagai solusi reduksi volume bahan. Bentuk lengkung membran shell bisa mereduksi kuat tarik pada balok plat lantai. Bidang *hyperbolic paraboloid* yang dikonfigurasi membentuk fungsi *slab* pada bangunan bertingkat dengan bentang kolom yang tidak terlalu besar. Mengurangi beban bangunan dan volume material beton sangat berperan mengurangi emisi karbon, yang juga dapat mengurangi dimensi kolom dan fondasi (Hawkins et al., 2020).

Kandungan karbon pada bahan konstruksi merujuk pada jumlah karbon dioksida (CO₂) yang dikeluarkan selama proses pembuatan, pengangkutan, dan pemasangan material konstruksi (Hammond & Jones, 2008). Ini mencakup semua tahapan dari ekstraksi bahan baku hingga produksi dan penggunaan material dalam konstruksi.

Tabel 1. Nilai *Coefficient Energy Carbon*

No.	Nama Material & Komponen	Nilai Emisi (KgCO ₂)
1	Cement	0,74
2	Cocrete	0,107
3	Bar and Rod	1,31
4	Ceramics	0,66
5	Plywood	0,81
6	Timber	0,45
7	Glass	0,86
8	Aluminium	1,69
9	Sand	0,0048
10	Paint	2,42
11	Gravel	0,0048
12	Water	0,001

Sumber: Inventory Of Carbon And Energy (2021)

Struktur shell yang lazim disebut shell memiliki sifat khas yaitu memiliki efisiensi mekanis yang lebih baik dibandingkan dengan struktur lainnya. Stabilitas yang dimiliki struktur shell bergantung pada konfigurasi dan bukan pada massanya. Dengan desain yang baik, struktur shell dapat digunakan untuk menopang beban besar dan memberikan naungan ruang dengan volume bahan yang lebih tipis. Kemudian dari segi estetika, keindahan struktur tercipta dari bentuk tektonikanya secara alami. Sesuai dengan karakternya bahwa untuk bisa terbentang dengan stabil, diperlakukan rekayasa geometri pada bidang strukturnya. Modifikasi bentuk ini pada akhirnya akan meningkatkan kinerja perilaku struktur dengan lebih baik. Parameter yang mungkin bisa dicapai antara lain mengusahakan distribusi tegangan pada seluruh bidang shell secara merata. Dengan demikian permukaan shell akan bebas dari lentur atau setidaknya memiliki nilai lentur yang dapat diterima (Tomás & Martí, 2010).

2. Metode Penelitian

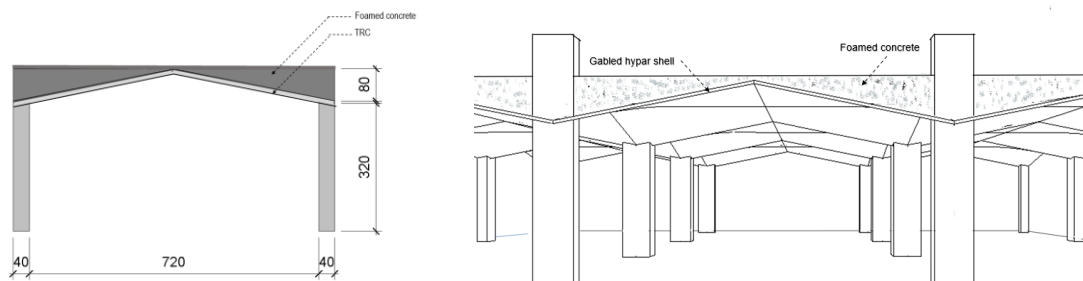
Penelitian ini membandingkan penggunaan struktur plat lantai desain *waffle* dengan plat lantai beton shell *hyperbolic paraboloid* (*hypar*). Plat lantai *waffle* merupakan plat datar konvensional yang akan dihitung dan diperbandingkan reduksi volume beton dan emisi karbonnya, ketika digantikan dengan plat beton shell tipis. Penelitian ini menggunakan nilai dari *embodied carbon* yang artinya emisi karbon tersimpan dalam suatu material bangunan. Selanjutnya struktur shell *hypar* akan diuji kemampuan layanan strukturnya terhadap angka defleksi statis yang dihasilkan dari geometrinya.

Proses pengerjaan diawali dengan *building modelling* menggunakan Revit Autodesk 2022 untuk menentukan dimensi dan volume struktur. Kemudian penghitungan nilai emisi karbon menggunakan pendekatan nilai inventori *embodied energy* dari University of Bath (Hammond & Jones, 2008). Perbandingan selisih emisi karbon kedua model plat lantai dilakukan dengan cara membandingkan selisih total emisi karbon, di mana selisih nilai emisi karbon ini yang akan dikonversikan ke nilai rupiah.

3. Hasil dan Pembahasan

Pemodelan 3D digunakan untuk mendapatkan dimensi dan besaran struktur plat lantai. Karena yang diperbandingkan hanya struktur plat lantai, maka struktur pendukung bangunan secara keseluruhan diasumsikan sama. Desain prototipe diturunkan dari bentuk dasar *hypar* dengan rusuk lurus atau dinamakan *hypar with straight edges* (Rha et al., 2015). Konfigurasi sistem lantai yang diusulkan memiliki spesifikasi sebagai berikut.

Jarak antar empat kolom penyangga direncanakan 8 x 8 meter persegi. Proporsi panjang bentang (*l*) dengan tinggi *hypar* (*h*) adalah 1: 10 , dengan tinggi kelengkungan $h = 80\text{cm}$. Proporsi 1:10 ini mengacu pada beberapa penelitian tentang geometri *hypar* yang mempertimbangkan fungsi dan estetika ruang di bawahnya.



Gambar 1. Dimensi shell *hypar* untuk sistem lantai bertingkat

Ketebalan shell direncanakan 6 cm, menggunakan material beton TRC. Sebagai pengisi antara bidang lengkung *hypar* dengan bidang lantai horizontal, diisi bahan beton ringan *geofom*. Jumlah beban hidup direncanakan 200 Kg/m² untuk penggunaan fungsi aktivitas setara perkantoran (SNI-1727-2013) dan diterapkan secara seragam di atas area lantai. Bobot satuan shell = 24kN/m³ diasumsikan dalam estimasi berat sendiri. Berat spesifik *geofom* adalah 8kN/m³.

Efisiensi Berat Beton

Berdasarkan informasi *modelling*, didapatkan volume beton shell sebesar 4,15 m³ dengan berat beton 9.960 kg ; dan volume *geofom* 12,8 m³ dengan berat 10.240 kg.

Dibandingkan dengan plat lantai konvensional dengan bentang yang sama, total volume betonnya adalah 14,45 m³ dengan berat beton total 34.680 kg.

Maka, lantai *hypar* memiliki berat beton 58% dibandingkan pelat lantai konvensional, dengan kata lain terjadi pengurangan berat beton sebesar 42%.

Pengurangan Emisi Karbon

Berdasarkan angka emisi karbon, plat lantai konvensional memiliki jumlah emisi 3710,76 kgCO₂ sedangkan plat lantai shell *hypar* memiliki jumlah emisi setengahnya yaitu 1884,92 kgCO₂

Tabel 2. Perbandingan nilai emisi karbon pada pelat beton konvensional dan pelat beton *hypar*

Struktur	Berat (kg)	Coefficient energy carbon (kgCO ₂ /Kg)	Emisi karbon (kgCO ₂)	Jumlah emisi karbon struktur (kgCO ₂)
Plat lantai konvensional	34680	0,107	3710,76	3710,76
Plat lantai shell <i>hypar</i> + Agregat	9960 10240	0,107 0,080	1065,72 819,20	1884,92

Kemampuan Struktur

Analisis numerik dilakukan untuk memprediksi respons struktur secara fisik (Kim et al., 2012).

Kemampuan struktur prototipe diuji secara simulasi menggunakan perangkat lunak ANSYS R2, yang terintegrasi dengan Building Information Modelling menggunakan Revit Autodesk. Target yang dicapai antara lain prediksi deformasi *bending* dan *buckling*.

Tabel 3. Hasil lendutan (*bending*)

L (cm)	h / L	h (cm)	Deformation max, 2500 N (cm)	Deformation max, 10000 N (cm)	batas lendutan ijin (SNI 03 2847 2002) 1/360
800	1:10	80	0,49	1,98	2,22

Tabel 4. Hasil deformasi tekuk (*buckling*)

L (cm)	h / L	h (cm)	Pembebanan rusuk (kg)	Pembebanan tengah (kg)	Pembebanan merata bidang (kg)
800	1:10	80	130.452	177.575	344.850

Dari simulasi numerik terhadap prototipe didapatkan hasil berupa nilai lendutan dan nilai deformasi tekuk. Pada pembebanan 2500 N dan 10000 N, deformasi struktur sebesar 0,49 cm dan 1,98 cm. Angka tersebut masih aman, di bawah lendutan yang diizinkan 2,22 cm berdasarkan SNI 03-2847-2002.

Hasil deformasi tekuk ditunjukkan dari simulasi berikutnya. Angka tersebut menunjukkan bahwa struktur mengalami kegagalan awal pada angka *buckling* 130.452 kg ; 177.575 kg ; 344.850 kg. Perbedaan tersebut dipengaruhi letak titik pembebanan pada permukaan bidang lantai. Struktur lebih stabil ketika bekerja menerima beban secara merata pada permukaan shell.

4. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa penggunaan pelat shell tipis sebagai alternatif sistem lantai ringan dapat secara efisien mengurangi penggunaan beton dan emisi karbon dalam konstruksi, tanpa mengorbankan kekuatan struktural. Dengan menggunakan beton shell tipis yang diperkuat dengan serat fiber, dapat diwujudkan desain lantai yang lebih eko-efisien.

Penelitian ini menunjukkan bahwa plat lantai *hypar* (*hyperbolic paraboloid*) memiliki berat beton yang lebih rendah dan lebih efisien dalam penggunaan material dibandingkan dengan plat lantai konvensional.

Analisis numerik menggunakan perangkat lunak ANSYS menunjukkan bahwa struktur pelat lantai *hypar* mampu menahan beban dan memiliki stabilitas yang memadai, sesuai dengan standar yang diizinkan. Dengan demikian, pendekatan inovatif ini dapat menjadi solusi untuk mengurangi dampak lingkungan dari industri konstruksi dan mendorong perubahan paradigma dalam desain dan konstruksi bangunan.

Ucapan terimakasih

Penelitian ini didanai oleh RKAT PTNBH Universitas Sebelas Maret Tahun Anggaran 2024 melalui skema Penelitian PENELITIAN HIBAH GRUP RISET (PENELITIAN HGR-UNS) B dengan Nomor Surat Perjanjian Penugasan Penelitian : 194.2/UN27.22/PT.01.03/2024

Daftar Pustaka

- Findik, F. (2022). Green concrete for structural buildings. *Heritage and Sustainable Development*, 4(1), 67–76. <https://doi.org/10.37868/hsd.v4i1.84>
- Hammond, G., & Jones, C. (2008). *INVENTORY OF CARBON & ENERGY (ICE)*.
- Hawkins, W., Orr, J., Ibell, T., & Shepherd, P. (2020). A design methodology to reduce the embodied carbon of concrete buildings using thin-shell floors. *Engineering Structures*, 207, 110195. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.110195>
- Kim, S.-N., Yu, E.-J., & Rha, C.-S. (2012). Finite Element Analysis of Gabled Hyperbolic Paraboloid Shells Subjected to Support Movements. *Journal of Korean Association for Spatial Structures*, 12(4), 57–69. <https://doi.org/10.9712/KASS.2012.12.4.057>
- Mangabhai, R., Bai, Y., Ghazizadeh, S., & Shi, S. (2019). *1st International Conference on Innovation in Low-Carbon Cement and Concrete Technology*.
- Rha, C.-S., Kim, S.-N., & Yu, E. (2015). Behavior of Gabled Hyperbolic Paraboloid Shells. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 14(1), 159–166. <https://doi.org/10.3130/jaabe.14.159>
- Tomás, A., & Martí, P. (2010). Shape and size optimisation of concrete shells. *Engineering Structures*, 32(6), 1650–1658. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2010.02.013>

Penggunaan Bentonit Yang Diaktivasi Secara Fisik Untuk Meningkatkan Kinerja Mesin Bensin 4-Langkah Tecumseh TD110

Herry Wardono^{1,3}, Simparmin Br Ginting², dan Wahyu Rahmatulloh³

¹ Program Studi Program Profesi Insinyur, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Bandarlampung, 35145, Indonesia

² Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Bandarlampung, 35145, Indonesia

³ Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Bandarlampung, 35145, Indonesia

Email: herryw22@gmail.com^{1,3}; simparmin.ginting@eng.unila.ac.id², wrahmatulloh@gmail.com³

ABSTRAK

Bentonit merupakan mineral yang mudah diperoleh di Provinsi Lampung, mampu menyerap partikel-partikel nitrogen, uap air, dan dapat digunakan sebagai penyaring udara kendaraan bermotor untuk memperkaya kandungan oksigen pada udara pembakaran, sehingga meningkatkan kualitas pembakaran. Penyaring udara bentonit diletakkan pada saluran masuk udara pembakaran. Bentonit yang digunakan dibuat dengan komposisi 60, 70 dan 80%, dan diaktivasi secara fisik dengan pemanasan menggunakan oven selama 1 jam dengan variasi temperatur 150, 175 dan 200 °C. Pengujian dilakukan menggunakan mesin bensin 4-langkah Tecumseh TD110 pada variasi putaran mesin 1500, 2500, dan 3500 rpm, variasi massa bentonit 25, 50 dan 100 gram. Penggunaan bentonit terbukti mampu menaikkan daya engkol dan menurunkan konsumsi bahan bakar. Daya engkol tertinggi diperoleh sebesar 16,53%, terjadi pada 2500 rpm menggunakan bentonit komposisi 80%, 150 °C, dan 100 gram. Sedangkan, penurunan tertinggi konsumsi bahan bakar yaitu sebesar 27,49% terjadi pada 3500 rpm menggunakan komposisi 60%, 200 °C, dan 25 gram.

Kata kunci: adsorben bentonit, bentonit, perlakuan udara pembakaran, prestasi mesin bensin

1. Pendahuluan

Kemajuan teknologi dan eksistensi manusia merupakan proses yang terus berlangsung. Manusia pada akhirnya sangat bergantung pada sektor transportasi karena kemajuan teknologi yang tidak diragukan lagi membutuhkan kemajuan di bidang ini. Emisi polusi udara dari kendaraan bermotor dalam skala besar dapat berkontribusi terhadap pemanasan global dan menyebabkan berbagai penyakit pada manusia (Diaz dkk, 2010). Berbagai upaya dapat dilakukan untuk menanggulangi menipisnya cadangan minyak dan bertambahnya emisi gas buang yang mengotori atmosfer, seperti menyempurnakan sistem pengapian pada mesin berbahan bakar bensin, menambahkan zat aditif bahan bakar pada komposisi tertentu, menyempurnakan sistem gas buang, serta melakukan pengolahan terhadap udara yang masuk ke ruang bakar.

Tiga komponen utama yang menyusun udara pembakaran dari udara atmosfer: nitrogen, uap air, dan oksigen. Pada kendaraan bermotor, uap air dan nitrogen tidak diperlukan untuk pembakaran. Udara pembakaran yang masuk ke ruang pembakaran akan memiliki gas oksigen lebih banyak, atau udara kaya oksigen, jika kedua gas ini dapat diturunkan. Karena oksigen dan bahan bakar akan mendapatkan porsi panas di akhir langkah kompresi dalam jumlah yang lebih besar, maka pembakaran dapat ditingkatkan bila menggunakan udara kaya oksigen. Performa kendaraan meningkat sebagai hasilnya. Dengan menarik gas nitrogen dan uap air dari udara atmosfer, berbagai upaya dilakukan untuk meningkatkan kualitas udara yang kaya oksigen. Adsorpsi adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan daya tarik gas nitrogen dan uap air. Pada kenyataannya, berbagai macam material, seperti arang biomassa, bentonit, zeolit alam, dan zeolit Lynde tipe-A, dapat menyerap gas nitrogen dan/atau uap air.

Kemampuan zeolit untuk menyerap uap air dan nitrogen cukup tinggi. Interaksi antara kation dalam kemasannya zeolit dan molekul kuadropol, seperti nitrogen, adalah yang memberikan zeolit kemampuan untuk menyerap nitrogen (Ribeiro dkk, 1984 dan Hamed, 2015). Telah dibuktikan bahwa zeolit ayakan molekuler tipe-A dapat menarik air untuk memisahkan campuran etanol-air dan menghasilkan etanol yang lebih murni (Diaz dkk, 2010). Kapasitas dehidrasi Zeolit Lynde tipe-A yang sangat baik memungkinkannya digunakan untuk mengekstrak bioetanol dengan kemurnian tinggi dari kombinasi etanol-air (Ginting dkk, 2019). Arang yang terbuat dari biomassa dihasilkan dari tempurung kelapa. Arang tempurung kelapa mempunyai permukaan yang lebar dan berongga dengan struktur yang berlapis-lapis. Hal ini menyebabkan arang tempurung kelapa mampu mengadsorpsi gas atau zat lain dalam larutan dan udara (Basuki dkk, 2008). Pori-pori arang tempurung kelapa mempunyai bentuk dan ukuran yang bervariasi dan tidak teratur, berkisar antara 10-10000 Å, sehingga dapat menarik dan mengadsorpsi partikel yang sangat halus, berukuran molekuler (Basuki dkk, 2008). Karena arang bersifat higroskopis, memiliki afinitas yang besar terhadap air, dan dapat menyerap uap air dalam jumlah yang sangat besar, maka mengakibatkan arang mengandung air (Suherman dkk, 2009). Mineral alami yang memiliki kemampuan menyerap nitrogen adalah bentonit. Hal ini karena partikel koloid bentonit memiliki kapasitas ion permukaan yang tinggi dan berukuran sangat kecil (Naswir dkk., 2019). Bentonit juga digunakan untuk menyerap molekul nitrogen dalam bahan bakar, menghasilkan kapasitas penyerapan sebesar 38,7 mg/g (Mambrini dkk, 2013). Selain itu, bentonit memiliki kemampuan untuk menyerap air. Bentonit dapat menyerap air hingga delapan sampai lima belas kali massa keringnya. Bentonit dapat membengkak hingga tiga puluh kali massa keringnya saat lembap (Liu dkk, 2017). Pada sistem pendingin adsorpsi, bentonit juga digunakan sebagai adsorben untuk menyerap air (Askalany dkk, 2017).

Karena bentonit adalah mineral alami yang berpotensi menyerap gas nitrogen dan uap air, ia berfungsi baik sebagai peningkat kualitas dalam pembakaran. Dengan meningkatkan kualitas pembakaran, penurunan pemakaian bahan bakar dapat ditingkatkan dan bahkan emisi gas buang kendaraan dapat dikurangi. Ini dapat membantu mengatasi kekurangan bahan bakar dan meningkatnya polusi lingkungan. Bentonit dan zeolit memiliki bentuk senyawa yang sebanding dan memiliki fitur yang serupa, sehingga dapat menyerap uap air dan nitrogen. Bentonit yang ditemukan di alam ada dua jenis, yaitu bentonit kalsium dan bentonit natrium. Jawa, Sumatera, Kalimantan Tengah, dan Sulawesi merupakan pulau-pulau yang memiliki potensi endapan sebanyak 380 juta ton. Provinsi Lampung memiliki banyak tempat yang berpotensi untuk penambangan bentonit, diantaranya adalah Desa Lugusari di Kabupaten Pringsewu yang memiliki endapan sebanyak 6,2 juta m³, Desa Lohjinawi yang memiliki endapan sebanyak 8,25 juta m³, dan Kabupaten Way Kanan yang memiliki sumber daya ini sebanyak 60 juta m³ (Wardono, 2011). Filter bentonit dapat mengurangi konsumsi bahan bakar mesin diesel 4-langkah sebesar 8,1331% jika menggunakan bentonit 70% dan 9,4275% jika menggunakan bentonit 80% (Wardono, 2011).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memanfaatkan berbagai macam mineral alam Indonesia yang melimpah dalam berbagai aplikasi, serta meningkatkan nilai ekonomisnya. Dengan meningkatnya nilai ekonomis bentonit, tentu dapat meningkatkan pendapatan daerah. Selain itu, keberhasilan adsorben bentonit ini dalam meningkatkan kualitas proses pembakaran merupakan salah satu upaya untuk mengatasi kelangkaan ketersediaan bahan bakar, sekaligus menciptakan lingkungan yang rendah polusi.

2. Metode

Bentonit dan air mineral adalah bahan yang digunakan dalam percobaan ini. Bentonit ini dibentuk menjadi pelet dengan diameter 10 mm dan tebal 3 mm. Ada beberapa peralatan yang harus dipersiapkan untuk membuat filter bentonit ini, yaitu cetakan pelet, oven listrik, timbangan digital, ayakan 100 mesh, *mixer*, kawat strimin, gelas ukur, mortar, dan *ampia*. Sedangkan untuk pengujian yaitu mesin bensin 4-langkah TD110, *stopwatch*, dan *tachometer*.

2.1 Pembuatan dan Pengemasan Pelet Dari Bentonit

Pertama-tama, bentonit ditumbuk menjadi tepung. Bubuk bentonit yang sudah halus kemudian diayak menggunakan ayakan berukuran 100 mesh. Setelah itu, bentonit halus yang berukuran 100 mesh ini sebelum dipakai diletakkan dalam wadah tertutup. Pasta pellet dibuat dengan 3 variasi, yaitu 60%, 70%, dan 80%. Pasta pellet 60% merupakan campuran dari 60% bentonit dan 40% air secara massa, misalnya 60 gram bentonit dan 40 gram air. Pasta dibuat dengan *mixer*, untuk memastikan campuran benar-benar merata dan berubah menjadi pasta. Selanjutnya, pasta dimasukkan ke dalam *ampia* agar rata dan memiliki tebal 3 milimeter. Pasta yang rata ini, kemudian dibentuk menjadi pelet berdiameter 10 milimeter. Setelah itu, pelet yang sudah jadi dimasukkan ke dalam oven dan dipanaskan selama satu jam pada temperatur 150, 175, dan 200 °C. Tahap berikutnya membuat kemasan *pellet* bentonit menggunakan kawat strimin disesuaikan dengan variasi massa yang dipilih yaitu 25, 50, dan 100 gram (lihat Gambar 1).



Gambar 1. Kemasan Filter Bentonit: 100, 50, dan 25 gram

Kemasan filter bentonit yang diuji ditempatkan ke dalam *casing* filter udara mesin bensin TD110, sebagaimana terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Kemasan Filter Bentonit Yang Terpasang Di Casing Mesin Bensin TD110

2.2 Prosedur Pengujian

Hal pertama yang dilakukan setelah torsi meter terkalibrasi dengan baik, maka mesin bensin 4-langkah dioperasikan sekitar 15 menit untuk pemanasan mesin bensin 4-langkah ini hingga kondisinya stabil. Pada saluran masuk udara dipasang filter udara bentonit 60% dengan massa 25 gram seperti pada gambar 2. Setelah mesin stabil, putaran mesin diatur pada 1500 rpm, kemudian pengambilan data tanpa menggunakan filter bentonit, lalu diulang sebanyak tiga kali. Semua data dicatat. Selanjutnya pengambilan data menggunakan filter bentonit teraktivasi fisik 150, 175, 200 °C, dan pengujian diulang sebanyak tiga kali. Setelah itu, putaran mesin diatur pada 2500 rpm, dan dilaksanakan pengujian sebagaimana halnya pada pengujian 1500 rpm. Semua data dicatat. Pengujian dilanjutkan pada 3500 rpm. Semua data dicatat. Setelah itu, pengujian dilanjutkan menggunakan massa 50 gram dan 100 gram. Semua data dicatat.

Setelah pengujian menggunakan filter bentonit 60% selesai, pengujian dilanjutkan menggunakan filter bentonit 70%. Semua data dicatat. Pengujian diulang sebanyak 3 kali. Terakhir, pengujian menggunakan filter bentonit 80% dilakukan dalam kondisi yang sama seperti pengujian menggunakan bentonit 60%. Semua data dicatat. Pengujian diulang sebanyak 3 kali. Semua data yang diperoleh kemudian dianalisis untuk memperoleh data nilai daya engkol (bP) dan data konsumsi bahan bakar spesifik engkol (bsfc). Nilai bP dan bsfc yang diperoleh ditampilkan ke dalam Tabel, kemudian dibandingkan antara yang menggunakan filter bentonit dan tanpa bentonit untuk mendapatkan selisih persentase, yaitu persentase kenaikan daya engkol dan penurunan bsfc.

3. Hasil Dan Pembahasan

Pengujian dilakukan pada 3 variasi komposisi yaitu 60, 70, dan 80%. Pengujian diawali dengan menggunakan komposisi bentonit 60%. Pada semua komposisi bentonit dilakukan beberapa variasi parameter pengujian yaitu variasi putaran mesin 1500, 2500, 3500 rpm, variasi massa bentonit 25, 50, 100 gram, serta variasi temperatur aktivasi 150, 175, 200 °C. Pengambilan data dilakukan sebanyak 3 kali. Dari setiap pengambilan data diperoleh nilai daya engkol dan konsumsi bahan bakar spesifik engkol. Hasil yang diperoleh seperti yang ditampilkan pada Tabel 1 sampai dengan Tabel 6.

Daya engkol yang diperoleh pada uji komposisi bentonit 60% ditabulasikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Nilai bP Pada Komposisi Bentonit 60%

Jenis Filter	Putaran Mesin (rpm)		
	1500	2500	3500
Tanpa Bentonit	0,885	1,714	2,214
25 (150 °C)	0,919	1,778	2,316
25 (175 °C)	0,935	1,803	2,386
25 (200 °C)	0,943	1,839	2,455
Tanpa Bentonit	0,885	1,714	2,253
50 (150 °C)	0,948	1,790	2,359
50 (175 °C)	0,937	1,845	2,414
50 (200 °C)	0,954	1,867	2,411
Tanpa Bentonit	0,884	1,712	2,258
100 (150 °C)	0,953	1,810	2,423
100 (175 °C)	0,942	1,844	2,445
100 (200 °C)	0,949	1,918	2,449

Semua pengujian yang menggunakan komposisi bentonit 60% mampu meningkatkan daya engkol mesin bensin 4- langkah Tecumseh TD110 dengan peningkatan sebesar 3,81-12,05% (lihat Tabel 1). Semakin banyak jumlah bentonit yang digunakan maka dapat meningkatkan daya engkol yang dihasilkan, kecuali pada operasi putaran tinggi (3500 rpm), penggunaan bentonit sebanyak 25 gram mampu meningkatkan daya engkol lebih tinggi dari 50 gram, namun penggunaan bentonit sebanyak 100 gram sedikit lebih baik dari 25 gram. Sementara itu, bentonit yang diaktivasi pada temperatur lebih tinggi mampu menghasilkan bertambahnya daya engkol. Daya engkol meningkat tertinggi diperoleh pada pemasangan bentonit 100 gram, temperatur aktivasi 200 °C, 2500 rpm yaitu sebesar 12,05% (0,2063 kW) dan diikuti penggunaan bentonit 25 gram, temperatur aktivasi 200 °C, 3500 rpm sebesar 10,86% (0,2405 kW).

Konsumsi bahan bakar spesifik engkol yang didapat ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai bsfc Pada Komposisi Bentonit 60%

Jenis Filter	Putaran Mesin (rpm)		
	1500	2500	3500
Tanpa Bentonit	0,359	0,366	0,401
25 (150 °C)	0,299	0,315	0,327
25 (175 °C)	0,315	0,288	0,303
25 (200 °C)	0,263	0,293	0,291
Tanpa Bentonit	0,316	0,376	0,391
50 (150 °C)	0,269	0,318	0,316
50 (175 °C)	0,270	0,292	0,303
50 (200 °C)	0,268	0,292	0,293
Tanpa Bentonit	0,280	0,376	0,347
100 (150 °C)	0,264	0,295	0,283
100 (175 °C)	0,268	0,300	0,279
100 (200 °C)	0,276	0,291	0,275

Kisaran penurunan bsfc pada operasi putaran tinggi adalah 18,44-27,49%. Penurunan bsfc tertinggi terjadi pada penggunaan bentonit 25 gram, temperatur aktivasi 200 °C, pada putaran mesin 3500 rpm yaitu sebesar 27,49%, disusul penggunaan bentonit 50 gram, temperatur aktivasi 200 °C yaitu sebesar 25,08%. Hal yang sama juga terjadi pada operasi putaran rendah, bentonit dengan massa 25 gram dan temperatur aktivasi 200 °C mendominasi hasil terbaik yaitu sebesar 26,86%, disusul dengan bentonit 50 gram, temperatur aktivasi 200 °C memperoleh 15,30%. Namun pada operasi putaran sedang, penurunan bsfc tertinggi terjadi pada penggunaan bentonit 100 gram temperatur 200 °C dan bentonit 50 gram temperatur 200 °C, yaitu masing-masing sebesar 22,65% dan 22,32%. Dari keterangan di atas bisa disimpulkan bahwa kemampuan bentonit 60% menghemat konsumsi bahan bakar maksimal sebesar 27,49%.

Daya engkol yang dihasilkan dengan penggunaan bentonit 70% ditampilkan pada Tabel 3. Dari Tabel 3 dapat dilihat bahwa peningkatan daya engkol pada operasi putaran tinggi umumnya mampu menghasilkan yang lebih baik bila dibandingkan pada operasi putaran sedang dan rendah. Operasi mesin pada penggunaan massa bentonit 100 gram, secara umum juga memberikan peningkatan daya engkol yang lebih tinggi. Hasil terbaik diperoleh sebesar 9,83% yang terjadi pada penggunaan 50 gram bentonit, 175 °C. Hasil terbaik kedua terjadi pada penggunaan 100 gram bentonit, 175 °C yaitu sebesar 9,20%. Pada operasi putaran mesin rendah, peningkatan daya engkol juga terjadi cukup baik yaitu mampu meningkat sebesar 7,80%. Pada Tabel 3 juga terlihat bahwa penggunaan bentonit teraktivasi fisik pada temperatur 200 °C untuk semua variasi massa

memberikan peningkatan daya engkol paling kecil. Sedangkan bentonit teraktivasi fisik pada temperatur 175 °C mampu memberikan hasil terbaik yaitu mampu meningkatkan daya engkol paling tinggi.

Tabel 3. Nilai bP Pada Komposisi Bentonit 70%

Jenis Filter	Putaran Mesin (rpm)		
	1500	2500	3500
Tanpa Bentonit	0,904	1,765	2,285
25 (150 °C)	0,974	1,867	2,410
25 (175 °C)	0,968	1,831	2,452
25 (200 °C)	0,933	1,804	2,407
Tanpa Bentonit	0,922	1,817	2,256
50 (150 °C)	0,954	1,900	2,453
50 (175 °C)	0,941	1,841	2,477
50 (200 °C)	0,940	1,812	2,441
Tanpa Bentonit	0,902	1,689	2,256
100 (150 °C)	0,971	1,841	2,414
100 (175 °C)	0,942	1,844	2,444
100 (200 °C)	0,941	1,815	2,451

Nilai bsfc yang terjadi untuk penggunaan bentonit 70% ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai bsfc Pada Komposisi Bentonit 70%

Jenis Filter	Putaran Mesin (rpm)		
	1500	2500	3500
Tanpa Bentonit	0,357	0,376	0,38
25 (150 °C)	0,269	0,294	0,27
25 (175 °C)	0,282	0,313	0,20
25 (200 °C)	0,284	0,298	0,20
Tanpa Bentonit	0,296	0,368	0,38
50 (150 °C)	0,273	0,317	0,28
50 (175 °C)	0,279	0,299	0,29
50 (200 °C)	0,278	0,293	0,29
Tanpa Bentonit	0,319	0,392	0,32
100 (150 °C)	0,273	0,294	0,22
100 (175 °C)	0,284	0,306	0,21
100 (200 °C)	0,283	0,301	0,27

Penurunan bsfc pada penggunaan bentonit 70% terjadi cukup signifikan pada penggunaan semua jenis bentonit, pada semua variasi putaran mesin (lihat Tabel 4). Pada operasi putaran rendah, pemanfaatan bentonit 70% mampu menurunkan bsfc sebesar 5,86-24,60%, dan sebesar 13,95-24,91% pada operasi putaran sedang. Sementara itu, pada operasi putaran tinggi mampu menurunkan bsfc sebesar 19,31-24,12%. Penurunan bsfc tertinggi terjadi pada pemanfaatan bentonit 100 gram, temperatur 150 °C, yaitu sebesar 24,91%. Terbaik kedua terjadi pada penggunaan bentonit 25 gram, temperatur 150 °C, yang mampu menurunkan bsfc sebesar 24,60%. Penggunaan bentonit 70% dengan massa 25 gram secara umum mampu mereduksi bsfc sedikit

lebih tinggi dibandingkan dengan bentonit massa 100 gram. Jika dibandingkan dengan bentonit 50 gram, bentonit 25 gram mampu mereduksi bsfc lebih tinggi, artinya bentonit 25 gram mampu menghemat konsumsi bahan bakar paling tinggi dibandingkan dengan 2 variasi massa lainnya. Jadi, bentonit 70% dapat menurunkan konsumsi bahan bakar paling tinggi, yaitu 24,91%.

Dari Tabel 5 diketahui bahwa penggunaan semua jenis bentonit dapat meningkatkan daya engkol pada motor bensin 4-langkah TD110. Daya engkol memperoleh peningkatan tertinggi pada operasi putaran sedang (2500 rpm), pada penggunaan 100 gram bentonit, temperatur aktivasi 150 °C dan 200 °C, yaitu masing-masing sebesar 16,53% dan 16,07%. Sementara itu, pada operasi putaran tinggi (3500 rpm), peningkatan terbaik terjadi pada penggunaan 25 gram bentonit yang diaktivasi pada temperatur 150 °C, dan 175 °C, yaitu meningkat masing-masing sebesar 9,62% dan 8,38%, diikuti dengan penggunaan 50 gram bentonit. Penggunaan bentonit 50 gram dapat meningkatkan daya engkol sebesar 7,49-8,10%. Peningkatan daya engkol pada operasi putaran rendah hanya mampu meningkatkan daya mesin tertinggi sebesar 5,15%, sedangkan pada operasi putaran tinggi mampu meningkatkan daya engkol tertinggi sebesar 9,62%.

Tabel 5. Nilai bP Pada Komposisi Bentonit 80%

Jenis Filter	Putaran Mesin (rpm)		
	1500	2500	3500
Tanpa Bentonit	0,902	1,742	2,258
25 (150 °C)	0,944	1,872	2,476
25 (175 °C)	0,935	1,853	2,448
25 (200 °C)	0,926	1,808	2,408
Tanpa Bentonit	0,888	1,770	2,276
50 (150 °C)	0,933	1,844	2,447
50 (175 °C)	0,931	1,859	2,451
50 (200 °C)	0,924	1,856	2,461
Tanpa Bentonit	0,892	1,587	2,284
100 (150 °C)	0,938	1,850	2,419
100 (175 °C)	0,938	1,831	2,446
100 (200 °C)	0,926	1,842	2,417

Kemampuan bentonit 80% dalam menurunkan bsfc mesin ditampilkan pada Tabel 6. Sama halnya dengan hasil yang diperoleh pada pengujian daya engkol dengan menggunakan 80% bentonit, penurunan bsfc tertinggi juga terjadi pada penggunaan 100 gram bentonit, 200 °C, operasi putaran 2500 rpm yaitu sebesar 17,44%. Hasil terbaik lainnya diperoleh sebesar 16,67% dan 16,23% yang terjadi pada penggunaan 25 gram bentonit, operasi putaran tinggi, temperatur aktivasi masing-masing 150 °C dan 175 °C. Sedangkan pada operasi putaran rendah, penurunan bsfc yang diperoleh hampir sama (sekitar 6%), perbedaannya tidak terlalu signifikan. Berdasarkan nilai di atas dapat dinyatakan bahwa penggunaan 80% bentonit dapat mengurangi konsumsi bahan bakar tertinggi sebanyak 17,44%. Semakin banyak jumlah bentonit yang digunakan, maka semakin mendominasi hasil terbaik, namun pada operasi putaran tinggi, penggunaan 25 gram bentonit lebih mendominasi dibandingkan dengan variasi massa bentonit yang lain.

Tabel 6. Nilai bsfc Pada Komposisi Bentonit 80%

Jenis Filter	Putaran Mesin (rpm)		
	1500	2500	3500
Tanpa Bentonit	0,298	0,335	0,328

25 (150 °C)	0,282	0,299	0,273
25 (175 °C)	0,281	0,302	0,275
25 (200 °C)	0,283	0,296	0,286
Tanpa Bentonit	0,301	0,326	0,325
50 (150 °C)	0,284	0,306	0,278
50 (175 °C)	0,286	0,309	0,279
50 (200 °C)	0,288	0,300	0,279
Tanpa Bentonit	0,303	0,367	0,317
100 (150 °C)	0,283	0,313	0,285
100 (175 °C)	0,278	0,307	0,284
100 (200 °C)	0,289	0,303	0,283

4. Simpulan

Kemasan filter udara berbahan bentonit yang dipasang pada *casing* mesin bensin 4-langkah TD110 mampu meningkatkan daya engkol dan mengurangi konsumsi bahan bakar spesifik engkol (menghemat bahan bakar). Secara umum, bentonit 60% mendominasi dalam meningkatkan daya engkol, sedangkan penghematan konsumsi bahan bakar didominasi oleh bentonit 80%. Temperatur aktivasi 200 °C memberikan hasil terbaik dibanding temperatur aktivasi lainnya, demikian pula pada penggunaan massa 200 gram, namun terbaik kedua diperoleh pada pemakaian 25 gram bentonit. Kenaikan daya engkol dan penurunan konsumsi bahan bakar paling tinggi terlihat signifikan pada pengujian putaran mesin 3500 rpm.

Daftar Pustaka

- Askalany, A.A., Ernst, S.J., Hügenell, P.P.C., JörgBart, H., Henninger, S.K., dan Alsaman, A.S. (2017). High potential of employing bentonite in adsorption cooling systems driven by low grade heat source temperatures. *Journal of Energy*, Volume 141, Pages 782-791.
- Basuki, K.T., Setiawan, B., dan Nurimaniwathy. (2008). Penurunan Konsentrasi CO dan NO₂ pada Emisi Gas Buang Menggunakan Arang Tempurung Kelapa Yang Disisipi TiO₂. *Prosiding Seminar Nasional IV SDM Teknologi Nuklir*. Yogyakarta.
- Diaz, J.C., Gil-Chavez, I.D., Giraldo, L., dan Moreno-Pirajan, J.C. 2010. Separation of Ethanol-Water Mixture Using Type-A Zeolite Molecular Sieve. *Journal of Chemistry* vol. 7 no. 2. <https://doi.org/10.1155/2010/597346>
- Ginting, S.B., Yulia, Y., Wardono, H., Hanif, M., dan Iryani, D.A. (2019). Synthesis and Characterization of Zeolite Lynde Type A (LTA): Effect of Aging Time. *Journal of Physics: Conference Series* vol. 1376 no. 1, 012041.
- Hamed, H.H. (2015). Oxygen and Nitrogen Separation from Air Using Zeolite Type 5A. *Al-Qadisiyah Journal For Engineering Sciences, QJES* vol. 8 no. 2.
- Liu, H., Xie, B., dan Qin, Y.L. (2017). Effect of Bentonite on the Pelleting Properties of Iron Concentrate. *Journal of Chemistry* vol. 2017. doi.org/10.1155/2017/7639326.
- Naswir, M., Arita, Desfournatalia, S., Hartati, W., Septiarini, L., dan Wibowo, Y.G. (2019). Utilization of Activated Bentonite to Reduce Nitrogen on Palm Oil Mill. *International Journal of Chemical Science* vol. 3, no. 4.
- Mambrini, R.V., Saldanha, A.L.M., Ardisson, J.D, Araujo, M.H., dan Moura, F.C.C. (2013). Adsorption of sulfur and nitrogen compounds on hydrophobic bentonite. *Applied Clay Science Volumes* 83–84, October 2013, Pages 286-293.
- Ribeiro, F.R., et al. (1984). "Zeolites: Science and Technology", *Proceedings of the NATO ASI*

Series, The Netherlands.

Suherman, Ikawati dan Melati. (2009). Pembuatan Karbon Aktif dari Limbah Kulit Singkong UKM Tapioka Kabupaten Pati. Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia SNTKI 2009. Bandung.

Wardono, H. (2011). Kemampuan Pelet Tekan Aktif Fisika Bentonit Sebagai Pengganti Zeolit Dalam Menghemat Konsumsi Bahan Bakar Mesin Diesel 4-langkah. Jurnal Mechanical volume 2 no 1. Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Bandar Lampung. Indonesia.

Perencanaan Pembangunan Gedung Pusat Terpadu Rumah Sakit Umum Daerah Sidoarjo

Lasikun^{*1)}, Aulia Choiri^{1,2)}, Yusuf Mukhamad³⁾, Pringgo Widyo Laksono¹⁾

¹⁾Profesi Insinyur, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami No.36, Solo, 57126, Indonesia

²⁾Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Jakarta Global University, Jl. Boulevard Grand Depok City, Depok, 16412, Indonesia

³⁾Teknik Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Jl. A. Yani Tromol Pos, Pabelan, Kartasura, 57162, Indonesia

Email: *auliacwindari@gmail.com

ABSTRAK

Perencanaan sebuah bangunan gedung pada intinya menyangkut aspek arsitektur, struktur dan MEP. Aspek tersebut timbul dari munculnya kebutuhan layanan masyarakat sekitar. Kebutuhan layanan kualitas fasilitas kesehatan dan kapasitas fasilitas kesehatan yang menciptakan lingkungan rumah sakit yang efisien, aman, dan nyaman. Selain kebutuhan hal teknis, perencanaan pembangunan rumah sakit memiliki tugas pokok membantu Pengguna Anggaran dalam proses perencanaan pembangunannya serta memberikan konsultasi baik teknis maupun non teknis atas hasil perencanaan yang sesuai dengan peraturan, pada penelitian ini menguraikan tentang konsepsi perancangan Gedung 8 Lantai RSUD Sidoarjo yang disesuaikan dengan kaidah peraturan yang berlaku. Tujuan utama dari perencanaan ini adalah untuk menyediakan sebuah gedung terpadu yang mampu memenuhi kebutuhan pelayanan kesehatan dengan lebih baik. Dalam perencanaan ini, ditekankan pada pengintegrasian aspek arsitektur, struktur, dan MEP (Mekanikal, Elektrikal, dan *Plumbing*) untuk menciptakan gedung yang tidak hanya kuat dan aman tapi juga efisien dan nyaman bagi pengguna. Penulisan penelitian menggunakan metode pendekatan kualitatif untuk memastikan hasil yang komprehensif dan detail. Hasil dari pembahasan penelitian konsepsi perancangan Gedung 8 Lantai RSUD Sidoarjo nantinya akan menunjukkan bahwa integrasi antara aspek arsitektur, struktur, dan sistem MEP (Mekanikal, Elektrikal, dan *Plumbing*) adalah kunci dalam menciptakan gedung yang tidak hanya fungsional tetapi juga efisien dan nyaman bagi penggunanya. Dari segi arsitektur, desain yang diusulkan mengedepankan aksesibilitas dan kenyamanan pengguna dengan mempertimbangkan alur sirkulasi yang jelas dan terpisah antara pengunjung, pasien rawat inap, dan area layanan khusus.

Kata kunci: Perencanaan, Gedung RSUD Sidoarjo, Arsitektur, Struktur, MEP, *Detail Engineering Design* (DED).

1. Pendahuluan

Peningkatan kualitas layanan kesehatan merupakan salah satu agenda penting dalam pembangunan nasional. RSUD Sidoarjo, sebagai salah satu penyedia layanan kesehatan di wilayah Jawa Timur, memiliki peran yang sangat strategis dalam memenuhi kebutuhan masyarakat akan layanan kesehatan yang berkualitas. Dalam rangka meningkatkan pelayanan dan kapasitasnya, diperlukan pengembangan infrastruktur yang memadai. Oleh karena itu, konsepsi perancangan Gedung 8 Lantai RSUD Sidoarjo menjadi langkah awal yang krusial untuk mewujudkan visi tersebut. Perkembangan demografi dan peningkatan kesadaran masyarakat akan pentingnya layanan kesehatan menuntut peningkatan fasilitas dan kapasitas rumah sakit. Kondisi RSUD Sidoarjo saat ini yang semakin padat dan tidak lagi memadai untuk menampung pasien serta kegiatan operasional rumah sakit menjadi alasan penting di balik kebutuhan pembangunan gedung baru. Gedung terpadu 8 lantai ini diharapkan tidak

hanya meningkatkan kapasitas layanan tetapi juga menerapkan standar pelayanan kesehatan yang lebih baik, dengan fasilitas yang lebih lengkap dan nyaman bagi pasien serta tenaga kesehatan.

RSUD Sidoarjo merupakan bangunan milik negara sehingga pada perencanaan dan pelaksanaannya memiliki standar-standar teknis pelaksanaan pada tingkatan nasional Indonesia. Sesuai dengan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 22/Prt/M/2018, Bangunan Gedung Negara adalah bangunan Gedung untuk keperluan dinas yang menjadi barang milik negara atau daerah dan diadakan dengan sumber pembiayaan yang berasal dari dana APBN, APBD, dan/atau perolehan lainnya yang sah. Pembangunan Bangunan Gedung Negara adalah kegiatan mendirikan Bangunan Gedung Negara yang diselenggarakan melalui tahap perencanaan teknis, pelaksanaan konstruksi, dan pengawasannya, baik merupakan pembangunan baru, perawatan bangunan gedung, maupun perluasan bangunan gedung yang sudah ada, dan/atau lanjutan pembangunan bangunan gedung.

Perancangan gedung ini tidak hanya fokus pada penambahan kapasitas saja, tetapi juga pada integrasi aspek arsitektur, struktur, dan MEP (Mekanikal, Elektrikal, dan *Plumbing*) untuk menciptakan lingkungan rumah sakit yang efisien, aman, dan nyaman. Dengan perhatian khusus pada keberlanjutan, aksesibilitas, dan teknologi terkini dalam layanan kesehatan, gedung baru ini diharapkan dapat menjadi model bagi pembangunan fasilitas kesehatan di masa depan. Melalui perencanaan yang matang dan penerapan standar yang tinggi, pembangunan Gedung 8 Lantai RSUD Sidoarjo diharapkan dapat menjawab tantangan layanan kesehatan masa kini dan mendatang.

2. Metode

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian konsepsi perancangan Gedung 8 Lantai RSUD Sidoarjo ini menggabungkan pendekatan kualitatif untuk memastikan hasil yang komprehensif dan detail. Menurut Sugiyono (2018) metode penelitian kualitatif adalah metode penelitian yang berlandaskan pada filsafat yang digunakan untuk meneliti pada kondisi ilmiah (eksperimen) di mana peneliti sebagai instrumen, teknik pengumpulan data dan di analisis yang bersifat kualitatif lebih menekankan pada makna. Metodologi penelitian kualitatif bertujuan untuk menganalisis dan mendeskripsikan fenomena atau obyek penelitian melalui aktivitas sosial, sikap dan persepsi orang secara individu atau kelompok. Pendekatan kualitatif dilakukan melalui studi literatur, wawancara dengan *stakeholder* terkait, dan observasi langsung ke lokasi proyek. Studi literatur mencakup pengkajian terhadap peraturan perundang-undangan terkait pembangunan rumah sakit, standar pelayanan kesehatan, serta referensi terkait desain dan arsitektur bangunan gedung serupa. Wawancara dengan *stakeholder*, termasuk manajemen RSUD Sidoarjo, tenaga kesehatan, dan pasien, dilaksanakan untuk mendapatkan *insight* mengenai kebutuhan, ekspektasi, dan tantangan yang ada.

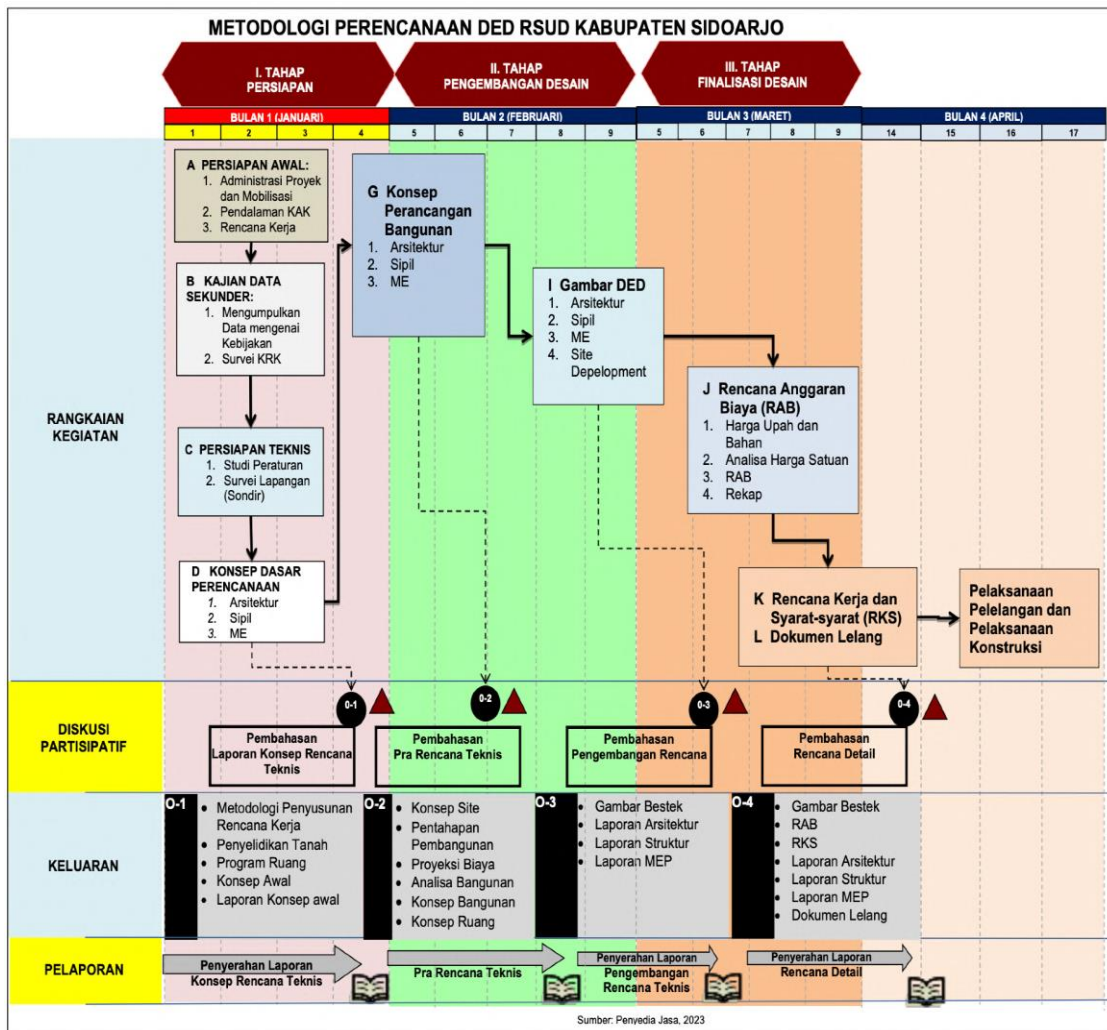
Sumber data adalah segala sesuatu yang dapat memberikan informasi mengenai data yang diperoleh menurut teknik pengumpulan yang dilakukan. Adapun data yang digunakan yaitu data primer dan sekunder. Data primer, yaitu data yang diperoleh langsung dari pihak yang terlibat langsung dalam pelaksanaan pembangunan proyek, gambar denah, gambar potongan, dan detail struktur. Sedangkan data sekunder ini mencakup literatur penunjang seperti tabel dan peta, hasil penelitian terdahulu yang relevan, dan Standar Nasional Indonesia (SNI). Analisis data dilakukan dengan menggunakan teknik statistik untuk

mengolah data survei, serta *software* khusus untuk simulasi desain arsitektur dan perhitungan struktur gedung, yang memungkinkan tim peneliti untuk merancang gedung yang tidak hanya aman dan kuat tetapi juga efisien dan ramah pengguna.

Permasalahan penelitian ini adalah bagaimana proses perencanaan pembangunan rumah sakit umum daerah Sidoarjo dengan konsep arsitektur modern gaya klasik, struktur *rigid frame* dengan beton bertulang dan mekanikal elekrtrial menggunakan konsep system kerja BAS (Building Automation System). Batasan masalah penelitian ini diantaranya adalah:

1. Rencana desain arsitektur yang menerapkan desain modern klasik serta mengedepankan aksesibel dan kenyamanan
2. Rencana Struktur menggunakan Struktur bangunan *rigid* yang ditinjau adalah bangunan 8 lantai dengan konstruksi beton bertulang.
3. Rencana desain mekanikal elekrtrial dengan system BAS (building automation system)

Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan desain yang optimal, yang tidak hanya memenuhi aspek teknis dan regulasi tetapi juga memberikan *comfort* bagi pengguna dan efisiensi operasional bagi RSUD Sidoarjo. Proses ini juga melibatkan iterasi desain berdasarkan *feedback* dari *stakeholder* untuk memastikan bahwa hasil akhir adalah solusi terbaik yang memenuhi semua kriteria dan kebutuhan yang telah ditetapkan. Gambar 1 di bawah adalah metode perencanaan DED RSUD kabupaten Sidoarjo.



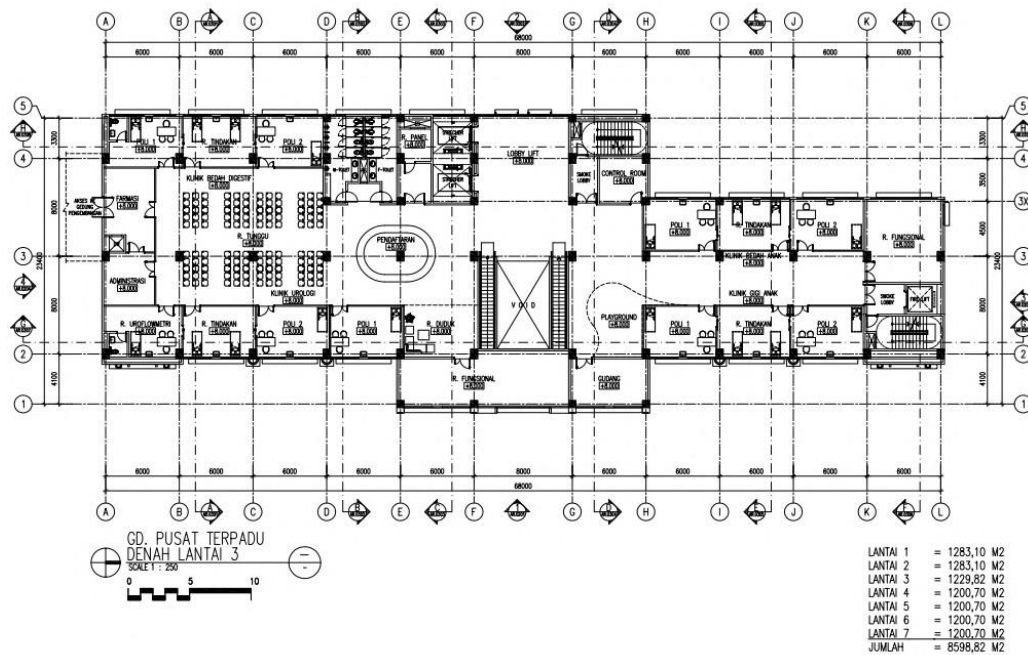
Gambar 1. Metodologi Perencanaan DED. Sumber: Analisis Penulis (2023)

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil pembahasan dari penelitian konsepsi perancangan Gedung 8 Lantai RSUD Sidoarjo menunjukkan bahwa integrasi antara aspek arsitektur, struktur, dan sistem MEP (Mekanikal, Elektrikal, dan *Plumbing*) adalah kunci dalam menciptakan gedung yang tidak hanya fungsional tetapi juga efisien dan nyaman bagi penggunanya.

3.1 Rencana Desain Arsitektur

Dari segi arsitektur, desain yang diusulkan mengedepankan aksesibilitas dan kenyamanan pengguna dengan mempertimbangkan alur sirkulasi yang jelas dan terpisah antara pengunjung, pasien rawat inap, dan area layanan khusus. Pencahayaan alami dan ventilasi yang baik juga menjadi prioritas untuk menciptakan lingkungan yang sehat dan mendukung penyembuhan pasien. Dalam konteks ruang interior bangunan, tentu hal ini berkaitan antara objek-objek yang saling berhubungan di dalamnya. Hubungan ini dapat terwujud berdasarkan pergerakan yang terjadi pada perpindahan individu dari ruang satu ke ruang lain yang telah dibentuk sebelumnya sehingga membentuk sebuah pola jaringan antar ruang. pola jaringan menjadi komponen penting yang mempengaruhi aspek kualitas ruang berupa permeabilitas dan aksesibilitas (Carmona et al, 2003).



Gambar 1 Denah Lantai 3 GD Pusat RSUD Sidoarjo.

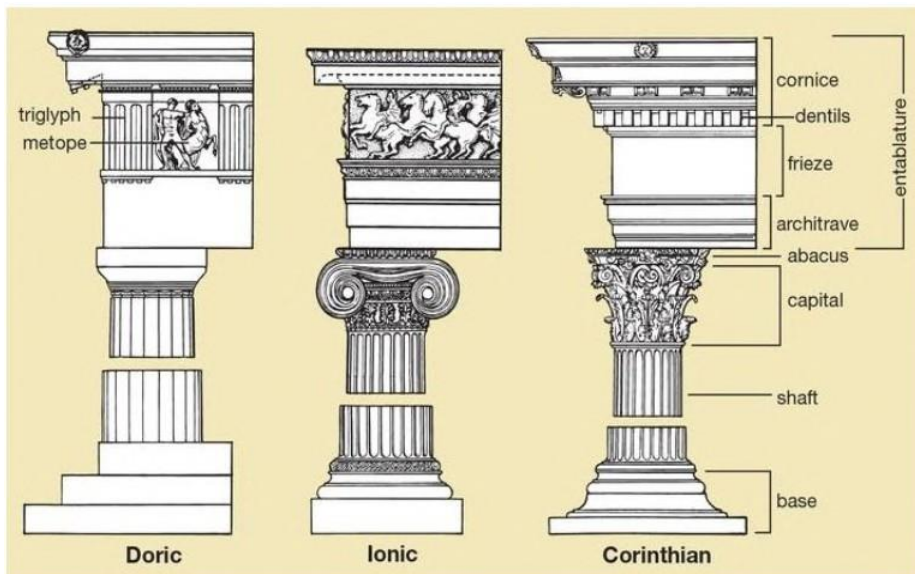
Sumber: Dokumen Penulis (2023)

Untuk tampilan fasad Gedung pusat RSUD memiliki gaya arsitektur modern klasik. Gambar 1 di bawah adalah gambar *design* untuk RSUD Sidoarjo. Ciri khas desain klasik adalah memiliki banyak unsur bentuk dekoratif pada fasadnya kemudian memiliki warna cenderung natural yang terinspirasi dari alam. Umumnya desain klasik memiliki warna yang cerah atau terang seperti putih. Warna putih sangat identik dengan kebersihan hal ini selaras dengan fungsi

bangunan Gedung tersebut yaitu fungsi Kesehatan. Dengan warna yang putih maka kesan bangunan tersebut menjadi bersih, terang dan ringan. Warna putih juga menyebabkan suasana ruang lebih luas karena pantulan Cahaya matahari dari luar ataupun lampu di interior ruang lebih maksimal ke segala sisi ruang. Hal ini menyebabkan penghematan daya Listrik akibat penggunaan lampu berlebih. Unsur dekoratif pada fasad desain klasik yaitu memiliki kolom-kolom yang di ekspos menonjol dari fasad walaupun itu hanya berupa kolom-kolom tiruan atau bukan kolom struktur.



Gambar 2 Design RSUD Sidoarjo. Sumber: Dokumen Penulis (2023)



Gambar 3 Order Arsitektur Klasik

Sumber: <https://helpiks.org/6-37509.html>, (akses 19 April 2023).

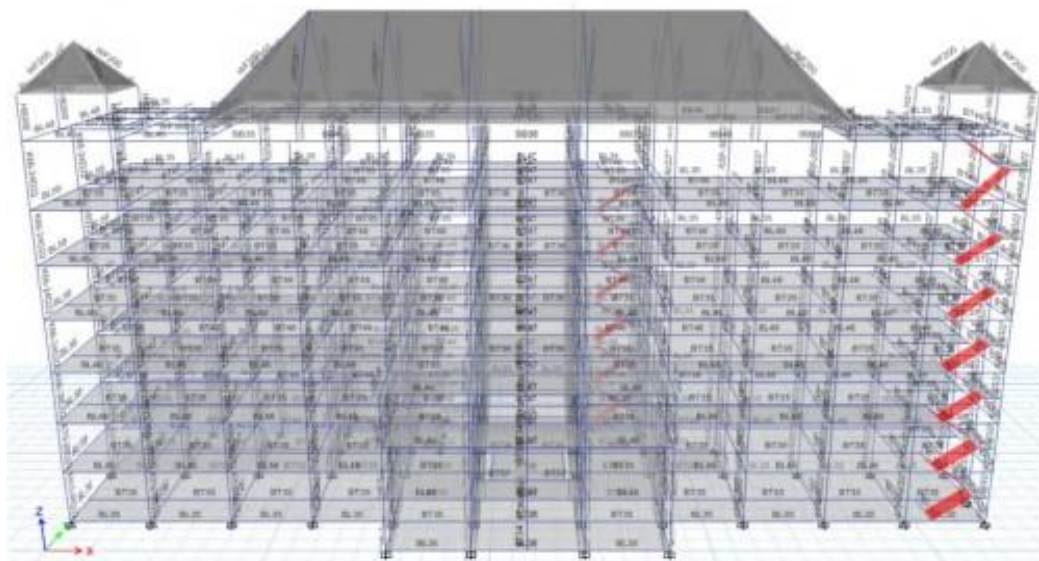
Bagian Order Kolom Klasik yang utama pada bagian paling bawah adalah *Base* (dasar kolom, bagian tengah adalah *Shaft* (tiang atau badan kolom), dan bagian atas adalah *Capital* (kapital: kepala kolom). Di atas kolom terdapat *Entablature* (superstruktur, yang terletak secara horizontal di atas kolom; ia tertumpu di atas kapital). Di atas *entablature* terdapat *Pediment* (konstruksi berbentuk segitiga *gable*).

3.2 Gambar Rencana Struktur

Dalam hal struktur, pembahasan menghasilkan keputusan untuk menggunakan bahan dan metode konstruksi yang memenuhi standar keamanan tinggi sekaligus efisien biaya. keberlanjutan lingkungan serta operasional gedung yang ramah lingkungan.

Sistem struktur yang dijadikan sebagai sistem penahan gaya gempa lateral dan vertikal pada Gedung RSUD Sidoarjo memenuhi salah satu tipe yang ditunjukkan pada SNI 1726:2019. Sistem struktur yang digunakan sesuai dengan batasan sistem struktur dan batasan ketinggian. Koefisien modifikasi respon, R , faktor kuat lebih sistem, dan koefisien amplifikasi defleksi harus digunakan dalam penentuan gaya geser dasar, gaya desain elemen, dan simpangan antar lantai tingkat desain.

Perencanaan bangunan gedung bertingkat akan mempertimbangkan efisiensi dan mengacu pada peraturan SNI 2847-2019, tentang persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan SNI 1726-2019, yaitu Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung. Selain itu, analisa struktur juga merupakan faktor penting dalam perencanaan bangunan gedung, karena dari analisa struktur akan dihasilkan gaya-gaya seperti momen lentur, gaya geser, gaya aksial yang nantinya akan menjadi patokan dalam mendesain elemen-elemen struktur, yang diharapkan mampu menahan semua beban yang ada termasuk beban akibat gempa. Perangkat lunak yang membantu pemodelan struktur bangunan RSUD Sidoarjo adalah ETABS.



Gambar 4 Analisis Model Struktur 3D Sumber: Analisis Penulis (2023).

3.3 Gambar Rencana MEP

Untuk sistem MEP, menggunakan sistem kerja BAS (Building Automation System) merupakan penggabungan sistem mekanik, listrik, peralatan dengan mikroprosesor yang berkomunikasi satu sama lain dan ke komputer. Komputer dan pengendali dalam *building automation system* ini dapat dihubungkan ke internet atau berfungsi sebagai sistem yang berdiri sendiri hanya untuk jaringan *peer to peer controller* saja. Selain itu, pengendali BAS sendiri tidak memerlukan komputer untuk memproses fungsi kontrol karena pengendali memiliki prosesor internal mereka sendiri.

Hasil pembahasan menekankan pentingnya sistem yang efisien dan mudah dalam perawatan. Sistem HVAC (*Heating, Ventilation, and Air Conditioning*) dirancang untuk menyediakan kualitas udara dalam ruangan yang optimal dengan efisiensi energi tinggi. Sistem pemadam kebakaran dan keamanan yang canggih juga diintegrasikan untuk menjamin keselamatan pengguna gedung. Keseluruhan, hasil pembahasan dari penelitian ini mengarah pada konsepsi perancangan gedung yang holistik, memadukan aspek teknis, fungsional, estetika, dan keberlanjutan untuk mendukung misi RSUD Sidoarjo dalam menyediakan layanan kesehatan berkualitas. Sebuah *set-up* di sebuah gedung yang di otomasi akan memiliki banyak pengendali otomatisasi bangunan yang melayani berbagai jenis peralatan pemanas dan pemanas ruangan (*building automation system* tidak terbatas hanya pada aplikasi HVAC). Gambar 2 di bawah adalah gambar skema BAS. Menurut Mandariani dan Zaini (2015), dalam operasional gedung, tiga hal yang harus diperhatikan adalah penghematan energi, kenyamanan penghuni dan level keamanan. Oleh sebab itu terdapat beberapa sistem otomatisasi yang dapat diaplikasikan di gedung yaitu *Heating Ventilating and Air Conditioner* (HVAC), pencahayaan, keamanan dan kebakaran, akses keamanan pengguna, pemantau daya dan transportasi dalam gedung. Integrasi sistem-sistem ini dikenal dengan nama *Building Automation System* (BAS).



Gambar 5 Skema BAS & BACS. Sumber: Zaini (2015)

4. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian konsepsi perancangan Gedung 8 Lantai RSUD Sidoarjo menunjukkan bahwa pencapaian gedung rumah sakit yang ideal memerlukan integrasi komprehensif antara desain arsitektur, kekuatan struktur, serta sistem MEP yang efisien dan berkelanjutan.

Rencana desain arsitektur pada gedung pusat RSUD Sidoarjo mengaplikasikan konsep desain modern klasik, modern untuk fungsi-fungsi bangunan dengan tampak desain klasik. Hal ini menjadikan bangunan tampak lebih bersih serta tetap atraktif pada tampilan fasad. Warna dominasi putih juga menunjang untuk kesan ruangan lega dan terang sehingga dapat mengurangi penggunaan lampu pada setiap ruangan. Fungsi ruang juga sangat mengedepankan aksesibilitas ruang yang maksimal sehingga dapat membuat kenyamanan bagi pengguna. Pola hubungan ruang yang mudah dimengerti mempengaruhi ketersediaan *way finding* ruang.

Rencana struktur bangunan model *rigid* beton bertulang sangat pas digunakan untuk bangunan gedung 8 lantai. Beton bertulang memiliki beberapa keuntungan dibandingkan struktur baja seperti memiliki ketahanan umur yang lebih lama serta dapat menahan lebih banyak panas. Desain *rigid* cocok digunakan pada wilayah geografis seperti di Indonesia karena faktor efek lingkungan dapat mempengaruhi deformasi struktur beton bertulang. Dengan perhitungan struktur yang tepat, bangunan gedung tersebut mampu menahan beban hidup, beban mati dan beban lateral.

Rencana Mekanikal elektrik Plumbing dengan menerapkan sistem kerja BAS (Building Automation System) memungkinkan ruangan bekerja secara *smart*. Hal ini sesuai konsep bangunan modern yang memiliki teknologi canggih dalam sistem utilitasnya. Semua komponen listrik dan perpipaan memiliki kontrol unit canggih dengan sistem operasi komputerisasi.

Melalui pendekatan yang memadukan metode kualitatif, hasil perencanaan ini mengusulkan desain yang tidak hanya memenuhi standar keamanan dan kenyamanan tetapi juga memperhatikan aspek keberlanjutan lingkungan dan efisiensi operasional. Dengan demikian, gedung yang direncanakan diharapkan dapat mendukung RSUD Sidoarjo dalam meningkatkan kualitas layanan kesehatan yang diberikan kepada masyarakat dengan lingkungan yang kondusif dan ramah pengguna.

Penelitian terbatas pada tahap konsepsi perancangan pembangunan gedung, sedangkan pada proses perencanaan final dibutuhkan pematangan konsepsi perancangan menjadi rencana detail yang diwujudkan dalam *Detail Engineering Design* (DED).

Daftar Pustaka

- Badan Standardisasi Nasional. 2013. Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain, SNI 03-1727-2013. BSN, Bandung.
- Badan Standardisasi Nasional. 2019. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, SNI 1726:2019. Jakarta.
- Carmona, Heath, Oc, Tiesdell. (2003). Public Places, Urban Spaces. Architectural Press.
- Peraturan Pemerintah No. 16 Tahun 2018 Tentang Pengadaan Barang/Jasa Pemerintah dan Peraturan Lembaga Kebijakan Pengadaan Barang/Jasa Bersama Perubahannya.
- Peraturan Pemerintah Republic Indonesia Nomor 12 Tahun 2021 Tentang Perubahan Atas Peraturan Presiden Nomor 16 Tahun 2018 Tentang Pengadaan Barang/Jasa Pemerintah.

Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Nomor 14 Tahun 2020 Tentang Stadar Dan Pedoman Pengadaan Jasa Konstruksi Melalui Penyedia.

Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 22/Prt/M/2018 Tahun 2018 Tentang Pembangunan Bangunan Gedung Negara.

Mandariani, P. dan Zaini. . Jurnal Teknik Elektro ITP, Vol 4, No 2, Juli 2015 . Pengemban Sistem Monitoring Pada Building Automation System (BAS) Berbasis

Sugiyono. 2018. Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D, penerbit Alfabeta,Bandung <https://helpiks.org/6-37509.html>, akses 19 April 2023

Solar Panel pada System Slope Stability Radar **PT. GroundProbe Indonesia**

Teddy Kurniawan¹, Jarot Setyowiyoto¹, Rahardian Dwitya²

¹Program Studi Program Profesi Insinyur, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

²GroundProbe GSS Remote Monitoring, Balikpapan

Email: teddy.kurniawan@mail.ugm.ac.id

ABSTRAK

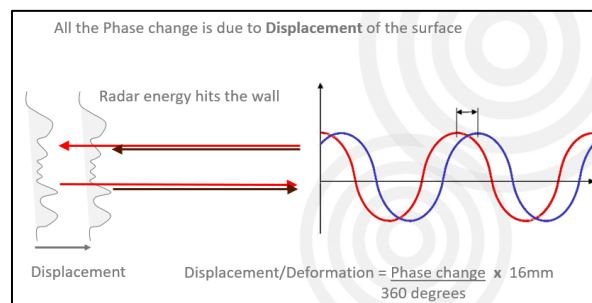
PT. GroundProbe merupakan perusahaan yang bergerak di bidang jasa monitoring system dengan memanfaatkan alat monitoring yang dinamakan Slope Stability Radar (SSR). Alat ini merupakan satu kesatuan unit mulai dari, bagian electrical, mechanical dan software, sehingga terbentuklah suatu alat yang bisa membantu perusahaan tambang untuk memonitoring lereng tambang. Secara operational, radar ini masih menggunakan bahan bakar fosil berupa solar sebagai sumber tenaganya agar alat ini dapat beroperasi dengan baik. Penggunaan alternatif lain memang sudah terinstall di alat ini, seperti sumber tenaga/power dari listrik. Namun kendala di area tambang, tidak semua bisa memfasilitasi hal tersebut. Seiring berkembangnya teknologi, salah satunya yaitu penggunaan Solar panel yang lebih ramah lingkungan sebagai sumber energi terbarukan. Penggunaan solar panel ini akan membantu resolusi energi bersih khususnya di area pertambangan. Solar panel, yang mengubah energi matahari menjadi listrik, telah menjadi salah satu sumber energi yang akan berdampak pada system itu sendiri termasuk peningkatan efisiensi, clean energy dan inovasi desain.

Kata kunci: Energi Terbarukan, Slope Stability Radar, Solar Panel, Tambang

1. Pendahuluan

Bahaya ketidakstabilan lereng tambang merupakan kegiatan penting ketika bekerja dengan lereng yang tidak stabil. Slope Stability Radar (SSR) dikembangkan untuk membantu mengelola risiko terkait ketidakstabilan lereng tersebut. SSR adalah sistem yang memindai lereng batuan dari jarak jauh untuk terus mengukur pergerakan permukaan dengan presisi hingga *sub-milimeter*. Kombinasi pengukuran secara *real-time*, presisi *sub-milimeter*, dan cakupan area yang luas untuk mengidentifikasi dengan *failure* yang terjadi memberikan parameter ideal untuk pengelolaan bahaya ketidakstabilan lereng. Hal ini memungkinkan *engineer* tambang untuk mendeteksi dan memperingatkan pekerja tentang pergerakan lereng tambang yang dapat mengakibatkan *failure/keruntuhan*. Keberhasilan penggunaan radar dalam memantau lereng dibuktikan dengan cepatnya pengadopsian teknologi ini oleh perusahaan pertambangan di seluruh dunia.

Pada dasarnya Groundprobe Slope Stability radar (SSR) merupakan teknologi penginderaan jauh yang menggunakan teori interferometri perubahan fasa untuk mengukur deformasi kemiringan permukaan lereng dari waktu ke waktu.



Gambar 1. Differential Interferometry (Noon. D.,2003)

SSR memberikan tiga keunggulan utama dibandingkan alat monitoring lereng tambang pada umumnya: cakupan area luas, *real-time* data deformasi, dan pengukuran jarak jauh tanpa perlu memasang reflektor prisma, sehingga mengurangi paparan pekerja terhadap bahaya longsor.

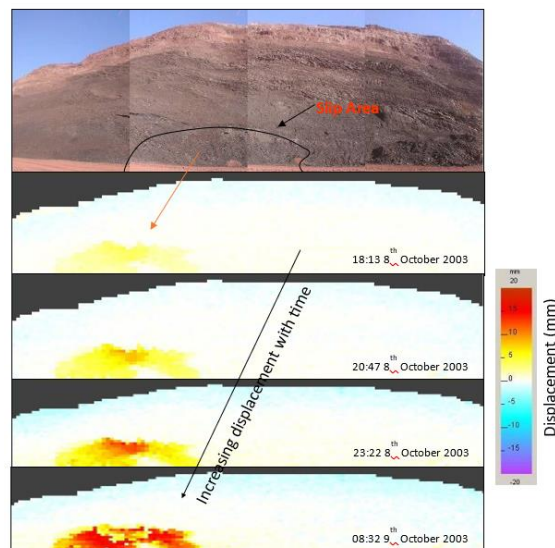
Ketidakstabilan lereng hasil rekayasa *engineering* dan lereng alami sering kali menjadi hal yang sangat penting karena potensi hilangnya nyawa dan kerugian perusahaan. SSR dikembangkan untuk membantu pengelolaan risiko yang terkait dengan lereng yang tidak stabil.

1. Rock Slope Failure

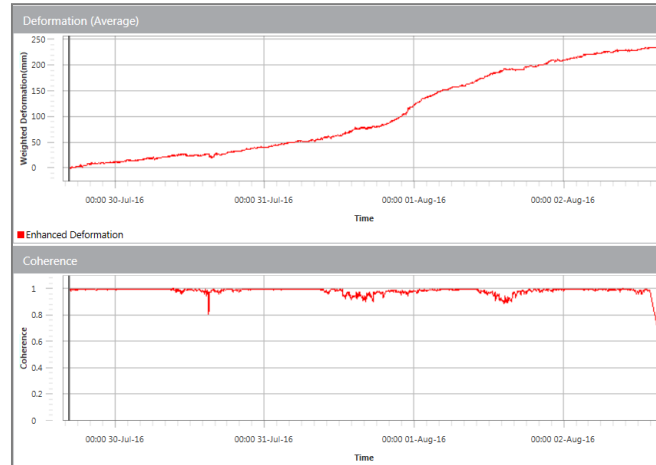
Failure pada lereng tambang sebagian besar ditentukan oleh karakteristik batuan dan *design engineering* yang direncanakan oleh para *engineer* tambang. Glastonbury & Fell (2002) menggunakan istilah ‘*collapse* untuk menunjukkan satu titik pergerakan tiba-tiba, *disagregasi*, dan pergerakan batuan dalam skala besar. Tidak semua lereng yang menunjukkan pergerakan akan runtuh, banyak lereng yang akan terus bergerak dengan kecepatan konstan atau menurun, sampai terbentuknya keseimbangan baru. SSR monitoring sangat cocok atau relevan untuk konsep keruntuhan/ *collapse* untuk banyak lereng batuan yang memiliki tipe keruntuhan dan karakteristik geologi yang menyebabkan pergerakan dan *disagregasi* secara tiba-tiba.

2. Rock Slope Monitoring

Groundprobe *Slope Stability Radar* mampu mengukur deformasi permukaan lereng dari jarak jauh memerlukan reflektor atau prisma (Reeves et al. 2001). SSR dapat memindai area lereng dan membagi area yang diinginkan menjadi piksel. Jumlah pergerakan diukur untuk setiap piksel dan dibandingkan dengan data pergerakan sebelumnya. Pemantauan jarak jauh/ *remote monitoring* menggunakan SSR memungkinkan pemantauan lereng dengan deformasi hingga *submilimeter*, dengan data yang dikumpulkan untuk satu area hanya dalam waktu 5 – 15 menit dengan jangkauan hingga 4 KM dan dengan luas 270 derajat *horizontal* dan 135 derajat *vertical* (Harries et al. 2006) dan dapat beroperasi pada semua kondisi seperti, kabut, debu atau asap (Harries & Cabrejo 2010).



Gambar 2. SSR Output Data – Deformation (Harries & Cabrejo 2010)



Gambar 3. Grafik pergerakan deformasi terhadap waktu (Harries dan Cabrejo 2010)

Data SSR ini juga digunakan sebagai komparasi untuk data-data alat monitoring lainnya, seperti yang dilakukan di Grasberg, Freeport Indonesia. Di mana mereka menggunakan GPS, ekstensometer, total station (prisma), dan SSR untuk monitoring lereng tambangnya (Ginting et.al. 2011).

Secara umum perkembangan teknologi dan energi juga memberikan dampak tersendiri untuk industri pertambangan yang merupakan salah satu sektor dengan konsumsi energi yang tinggi dan dampak lingkungan yang signifikan. Begitu juga halnya dengan *Slope Stability Radar (SSR)*, di mana saat ini aktivitasnya masih menggunakan sumber energi fosil sebagai bahan bakar utama. Penggunaan *solar panel* atau energi ramah lingkungan dalam operasi pertambangan pada khususnya telah menjadi hal wajib untuk digunakan. Pengurangan emisi karbon, penghematan biaya operasional, dan diversifikasi portofolio energi perusahaan. *Solar panel* juga dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mengurangi biaya operasional jangka panjang. Sehingga penggunaan *solar panel* pada *Slope Stability Radar (SSR)*, dapat memberikan beberapa keuntungan tambahan dan memungkinkan operasi yang lebih mandiri dan berkelanjutan.

Maksud dari penelitian ini adalah untuk mengimplementasikan teknologi *solar panel* pada SSR untuk terbentuknya system yang lebih ramah lingkungan. Sedangkan tujuan utama yang hendak dicapai adalah mendapatkan desain *solar panel* yang sesuai dengan spesifikasi SSR, terutama dalam hal kelistrikannya. Tegangan input dan output yang sesuai kebutuhan operasional SSR.

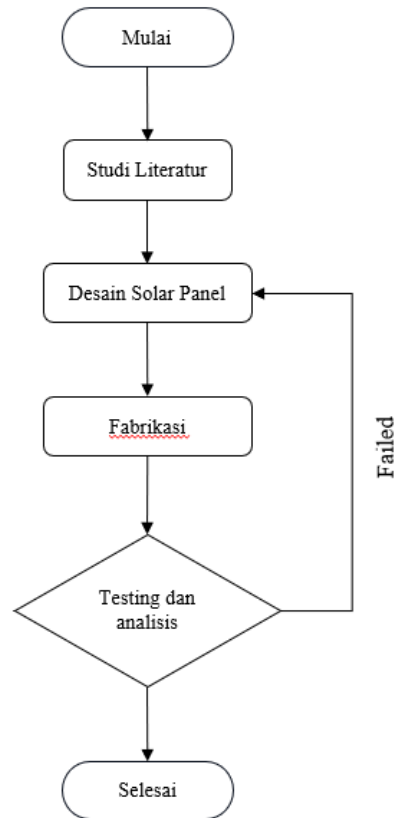
2. Metode

Penelitian ini menggunakan data pantauan lereng oleh *Slope Stability Radar* pada saat pengaplikasian *solar panel*. Fokus utama pada penelitian ini nantinya akan mencakup studi literatur tentang penggunaan *solar panel* secara umum dan pada generator. Perencanaan desain dan fabrikasi, akan mengikuti standar dan spesifikasi kebutuhan SSR. Perencanaan desain akan diproses menggunakan *software SolidWorks* dengan fokus pada desain penggunaan saat *charging on dan charging off*. Setelah semua desain kebutuhan solar panel pada SSR, fabrikasi akan diproses dengan mempertimbangkan hal-hal berupa *building material* dan kesesuaian hasil fabrikasi. Hal ini akan berpengaruh pada ketahanan produk saat pemakaian dalam waktu yang lama. *Testing* dan analisis akan dilakukan di *warehouse PT.GroundProbe* secara langsung pada SSR. Beberapa parameter seperti nilai *input* dan *output* hasil penggunaan *solar panel* pada SSR akan menjadi hal yang perlu diperhatikan. Hal ini berhubungan dengan faktor keselamatan untuk SSR itu sendiri. Kelebihan input akan mengakibatkan kerusakan pada sistem SSR nantinya.

2.1 Lokasi Kegiatan

Adapun fokus kegiatan yang hendak dilakukan adalah mencakup kegiatan-kegiatan yang ada di area produksi dan *warehouse* di PT. GroundProbe Indonesia

2.2 Diagram alir penelitian



Gambar 4. Diagram alir penelitian

Metode utama penelitian ini adalah observasi lapangan yang dilakukan secara langsung baik mulai dari desain sampai testing hasil penelitiannya. Metode analisis yang digunakan adalah analisis kuantitatif. Data hasil testing pada *SSR* akan dihitung dan disesuaikan dengan kebutuhan alat itu sendiri.

3. Hasil dan Pembahasan

Penggunaan *solar panel* pada *SSR* adalah salah satu upaya pengembangan energi menjadi lebih mandiri. Potensi energi panas matahari yang berlimpah khususnya di Indonesia akan mengurangi ketergantungan pada sumber daya energi eksternal dari bahan bakar fosil. Penggunaan *solar panel* pada *power system* membantu mengurangi jejak karbon dan dampak lingkungan negatif lainnya yang terkait dengan pembakaran bahan bakar fosil (Arya et.al, 2023). Meskipun penggunaan *solar panel* memberikan banyak manfaat, perlu diingat bahwa efektivitas penggunaannya tergantung pada faktor-faktor seperti lokasi geografis, kondisi cuaca, dan kebutuhan energi spesifik dari sistem radar.

Setiap alat kerja di area tambang haruslah memiliki standard safety yang baik, sehingga pekerja yang akan melakukan pekerjaan pada alat-alat tambang ini bisa bekerja dengan baik dan selamat. Begitu juga dengan desain *solar panel* yang akan diterapkan pada system *Slope Stability Radar* ini. *Solar panel* harus aman bagi alat *SSR* itu sendiri dan bagi pekerja yang melakukan aktivitas di area tersebut. Pada penelitian ini standar *safety* akan difokuskan pada masalah

kelistrikan berupa input tegangan yang diterima *SSR* nantinya. Di mana untuk standar operasional, *SSR* membutuhkan tegangan sekitar 24 V.

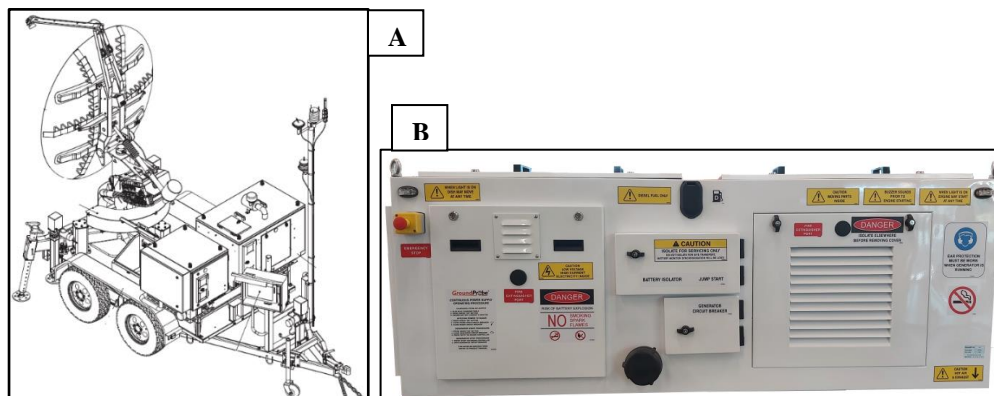
Berikut adalah standar *power input* yang bisa diterima oleh *SSR*:

<i>Battery System</i>	<i>Battery Voltage</i>	24 VDC
	<i>Max Charge Current</i>	20 A
	<i>Absorption Voltage</i>	29.4 VDC
	<i>Float Voltage</i>	27.2 VDC

Tabel 1. *SSR power input*

Pada tabel 1 dapat kita cermati untuk *power input* yang dapat diterima oleh *SSR*. Hal ini akan menjadi acuan dasar bagi kita nantinya untuk menentukan jenis dan desain dari *solar panel* yang akan kita gunakan. *Float voltage* merupakan tegangan yang dibutuhkan *SSR* pada saat kondisi internal baterainya mendekati 100 persen/ *full*. Sedangkan *absorption voltage* merupakan tegangan yang dibutuhkan *SSR* pada saat kondisi internal baterainya low/ sekitar 65 persen. Tegangan yang dibutuhkan akan menurun seiring dengan meningkatnya persentase tegangan baterai *SSR*. Tegangan dan arus yang dihasilkan *solar panel* harus mencukupi tegangan 24VDC yang dibutuhkan agar *SSR* untuk beroperasi.

Penentuan spesifikasi yang dibutuhkan oleh *SSR* sebelumnya akan menuntun pada proses desain dari *solar panel* yang akan diterapkan pada *SSR* nantinya.



Gambar 5. A. desain *SSR* normal, B. *compartment engine* dan baterai *SSR*

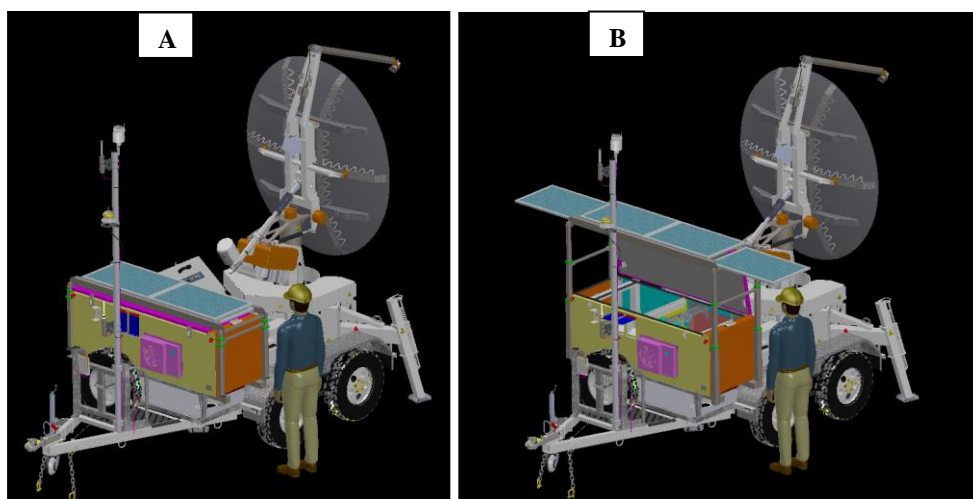
Desain yang akan diterapkan pada *SSR* adalah tipe yang akan melekat pada *SSR* itu sendiri. Hal ini dikarenakan mobilitas *SSR* yang tinggi, sehingga akan lebih efisien untuk di install pada bagian radar tersebut. Pada gambar 6 dapat terlihat kondisi *SSR* normal tanpa *solar panel*. Kemungkinan terbaik untuk penempatan *solar panel* ini adalah pada bagian atas *cover compartment engine*. Hal ini dipengaruhi oleh fleksibilitas yang diperoleh dikarenakan koneksi antar internal baterai *SSR* dengan *solar panel* nantinya berada pada bagian *compartment engine* dan baterai ini. Sehingga akan lebih efisien untuk proses penginstalannya.

Hal lain yang perlu diperhatikan adalah faktor berat dari *solar panel* nantinya yang tidak boleh melebihi standar yang mampu ditahan kompartemen *engine* dan baterai yaitu 100kg. Tipe *solar panel* yang digunakan juga harus diperhatikan agar sesuai dengan standar yang sudah didapatkan sebelumnya.

Name	Description
Brand	Victron Energy
Model	BlueSolar Polycrystalline
Power (W) per panel	115W
Dimensions (mm)	1015 x 668 x 30 mm
Weight	8 Kg or 17.64 pounds
Power (W) per panel	115W
Combined power rating (W)	460W

Tabel 2. Spesifikasi solar panel

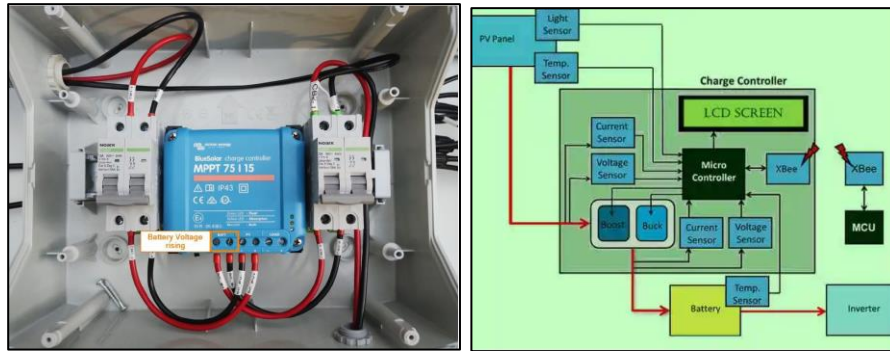
Pada tabel 2 dapat dilihat spesifikasi yang direkomendasikan oleh tim *engineering* yaitu tipe *Mono-crystal Silicone 4 panels*. Daya yang diperoleh untuk setiap panelnya adalah 115 W dengan total keseluruhan 4 buah panel adalah 460 W. Berat masing- masing panel adalah 8 kg dengan total keseluruhan 32 kg. Spesifikasi tersebut cukup kuat untuk mengoperasikan radar sesuai dengan standarnya operasinya. Setelah mendapatkan semua spesifikasi yang dibutuhkan, desain penginstalan *solar panel* pada *SSR* akan menjadi tujuan selanjutnya.



Gambar 6. Desain Solar panel pada *SSR*, A. folding B. open

Gambar 7 merupakan desain *solar panel* yang akan diaplikasikan pada *SSR*. Terlihat bahwa *solar panel* ini diletakkan diatas kompartemnt engine dan baterai dari *SSR*, sesuai dengan tujuan awal. Tipe design *solar panel* yang diterapkan adalah folding, di mana *solar panel* ini bisa dilipat untuk keperluan mobilisasi dan dapat dibuka kembali pada saat pengeperasian.

Dari spesifikasi yang sudah didesain sebelumnya didapatkan jenis *solar panel* yang cocok untuk support 24 Volt tegangan yang dibutuhkan *SSR*. Terdapat 4 buah *solar panel* berkapasitas 115W dengan total 460 W. Suhu penggunaan bisa bertahan pada -40° celcius sampai $+80^{\circ}$ celcius. Di mana hal ini sangat sesuai dengan kondisi lingkungan kerja *SSR* yang harus tetap beroperasi pada suhu extreme. Dengan *lifetime* yang tinggi sampai diatas +10 tahun, sangatlah efisien dan ekonomis dibandingkan penggunaan *engine* yang bertahan kurang lebih 3 tahun. *Solar panel* yang sudah terpasang pada *SSR* nantinya akan terkoneksi ke perangkat *MPPT* sebelum di koneksi ke area baterai *SSR*. *MPPT* merupakan singkatan dari *Maximum Power Point Tracking*, yang dalam bahasa Indonesia berarti Pelacakan Titik Daya Maksimum. Ini adalah teknologi yang digunakan dalam sistem pengecasan baterai untuk mengekstrak daya maksimum dari *solar panel*. Dalam kondisi tertentu, *solar panel* tidak dapat menghasilkan daya maksimum karena adanya variasi suhu, intensitas cahaya, dan *resistansi internal panel*. *MPPT* berfungsi untuk menemukan titik kerja terbaik *solar panel* di mana daya yang dihasilkan adalah maksimum.



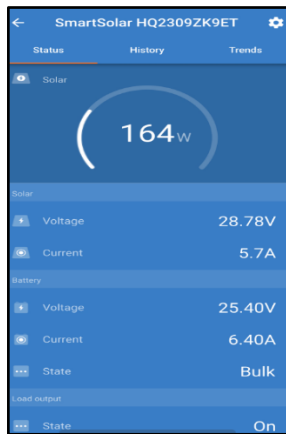
Gambar 7. Diagram MPPT Mikrokontroler, (elprocus.com, 2024)

Berikut adalah beberapa komponen yang umumnya ditemukan dalam *MPPT charge controller* berdasarkan (elprocus.com, 2024) :

- **Microcontroller:** Merupakan otak dari *MPPT charge controller*. Microcontroller memproses data dari sensor dan mengendalikan operasi *MPPT*. Itu juga dapat memonitor dan mengontrol operasi keseluruhan sistem *solar panel*.
- **Sensor Cahaya:** Digunakan untuk mengukur intensitas cahaya yang diterima oleh *solar panel*. Sensor ini memberikan informasi kepada microcontroller tentang tingkat cahaya saat ini, yang digunakan untuk mengoptimalkan operasi *MPPT*.
- **Konverter DC-DC:** Komponen ini bertanggung jawab untuk mengubah tegangan dan arus input dari *solar panel* menjadi nilai yang diinginkan. Konverter ini dapat berupa boost converter (untuk meningkatkan tegangan) atau buck converter (untuk menurunkan tegangan), tergantung pada kondisi *solar panel*.
- **Transistor:** Transistor digunakan sebagai saklar dalam konversi DC-DC. Transistor ini mengendalikan aliran energi dari *solar panel* ke beban atau baterai sesuai dengan kebutuhan untuk mencapai titik daya maksimum.
- **Induktor:** Induktor menyimpan energi dari arus yang mengalir melalui konverter DC-DC. Induktor ini berfungsi untuk melepaskan energi secara bertahap dan menghasilkan tegangan yang diinginkan sesuai dengan kebutuhan sistem.
- **Display atau Monitor:** *MPPT charge controller* juga sering dilengkapi dengan tampilan atau monitor, seperti LCD atau LED, yang menampilkan informasi penting seperti tegangan, arus, daya, dan status operasi *MPPT*.
- **Proteksi:** *MPPT charge controller* juga dilengkapi dengan berbagai fitur proteksi, seperti proteksi terhadap kelebihan tegangan, kelebihan arus, suhu berlebih, serta proteksi terhadap hubungan terbalik.

Penggunaan teknologi *MPPT* sangat penting dalam sistem *solar panel* karena memungkinkan kita untuk memperoleh efisiensi yang lebih tinggi. Tanpa *MPPT*, *solar panel* hanya akan beroperasi pada titik kerja tetap, yang mungkin tidak selalu cocok dengan kondisi lingkungan dan cuaca yang berubah-ubah. Dengan *MPPT*, *solar panel* dapat menyesuaikan daya yang dihasilkan sesuai dengan kondisi yang sedang berlangsung, sehingga mengoptimalkan efisiensi dan meningkatkan produksi energi.

Setelah semua komponen dan desain didapatkan, pengujian dan analisa pemakaian *solar panel* ini dilakukan.

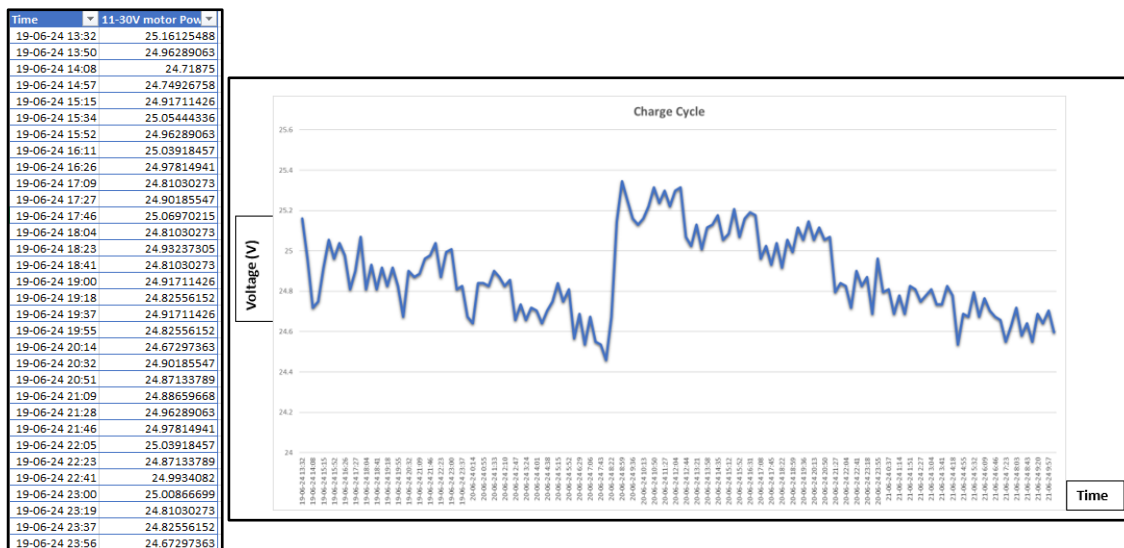


Gambar 8. Hasil pengukuran solar panel

Pada Gambar 8 diperlihatkan hasil yang diperoleh dari penggunaan solar panel pada SSR. Solar ini menghasilkan 164 W daya yaitu dari hasil tegangan 28.78 V dan arus 5.7 A.

Hasil konversi energi dari solar panel oleh MPPT didapatkan tegangan 25.4 V dan 6.4 A. Hasil ini sudah cukup baik untuk mampu mengoperasikan SSR dengan standar 24 V. Analisa selanjutnya akan berfokus pada charging cycle dari penggunaan solar panel pada SSR ini

Pengujian dilakukan selama 3 minggu dengan data yang didapatkan berupa charging cycle dari penggunaan solar panel pada SSR. Data charging cycle merupakan data tegangan yang tersimpan oleh sistem selama proses scan SSR dilakukan. Lamanya waktu update antara satu data dengan data selanjutnya dipengaruhi oleh lamanya waktu scan satu area.



Gambar 9. Charging cycle penggunaan solar panel

Pada Gambar 9 dapat dianalisis bahwa, data 1 scan membutuhkan waktu sekitar 18 menit. Setiap update scanning, data aktual dari tegangan yang diperoleh SSR dari solar panel juga akan tersimpan. Dari data-data tersebut maka didapatkan grafik cycle charge dari SSR. Tegangan yang diperoleh adalah stabil pada tegangan 24 -25 V untuk proses pengisian daya baterai dan waktu penggunaannya. Hasil perhitungan yang diperoleh dari desain dan jenis solar panel yang digunakan menunjukkan hasil yang sesuai dengan tujuan penggunaan solar panel ini. Di mana dari segi spesifikasi sesuai dengan standar SSR itu sendiri sehingga tidak akan mengakibatkan kegagalan operasi pada SSR nantinya. Sebagai tambahan, jika kondisi cuaca yang tidak mendukung untuk aktivitas solar panel seperti kurangnya suplai cahaya matahari yang didapatkan, maka SSR akan secara otomatis berpindah ke mode pengisian daya menggunakan engine internal standarnya. Operational SSR harus tetap berjalan 24/7 dengan suplai daya yang tersedia.

4. Simpulan

Hasil penelitian penggunaan solar panel pada SSR, didapatkan bahwa desain solar panel yang diaplikasikan pada SSR telah menyesuaikan standar dan spesifikasi pada system SSR,

sehingga operational dan mobilisasi SSR masih bisa berjalan optimal dengan penambahan solar panel tersebut. *Standard operational SSR* dengan kebutuhan 24 VDC dapat terpenuhi dengan pemakaian solar panel dengan tipe *Mono-crystal Silicone 4 panels*. Solar ini menghasilkan 164 W daya yaitu dari hasil tegangan 28.78 V dan arus 5.7 A. Hasil konversi energi dari solar panel oleh MPPT didapatkan tegangan 25.4 V dan 6.4 A. Hasil uji *testing* selama beberapa hari yang juga bisa dilihat dari grafik menunjukkan tegangan yang stabil pada 24-25 V.

Daftar Pustaka

- Arya, D., 2023. *Kebijakan Dekarbonisasi Sistem Energi Indonesia pada Sektor Energi Terbarukan*. Universitas Pertahanan Republik Indonesia, Indonesia
- BlueSolar Monocrystalline Panels, (19 Juni 2024), <https://www.victronenergy.com/solar-pv-panels/bluesolar-panels>
- Ginting, A., Stawski, M., and Widiadi, R. 2011. *Geotechnical risk management and mitigation at Grasberg Open Pit, PT Freeport Indonesia*. In *Proceedings of Slope Stability 2011: International Symposium on Rock Slope Stability in Open Pit Mining and Civil Engineering*. Vancouver, BC. Canadian Rock Mechanics Association.
- Glastonbury, J. & Fell, R. 2002. *Report on the analysis of the deformation behaviour of excavated rock slopes*. Univ report no. R-403, The University of New South Wales, Australia.
- Harries, N.J., and Cabrejo, A.G.L. 2010. *Deformation response of coal mine slopes - implications for slope hazard management using evacuation based on slope monitoring*. In *Proceedings of the 44th US Rock Mechanics Symposium and 5th U.S.–Canada Rock Mechanics Symposium*. American Rock Mechanics Association, Salt Lake City, Utah.
- Harries, N. J., Noon, D. & Rowley, K. 2006. *Case Studies of Slope Stability Radar Used in Open Cut Mines*. In *Stacey (Chairman)*. Stability of Rock Slopes in Open Pit Mining and Civil Engineering Situations, Proc. intern. symp., Cape Town, South Africa, 3-5 April 2006. Johannesburg: SAIMM.
- MPPT application (19 Juni 2024) <https://www.elprocus.com/>
- Noon, D. 2003. *Slope Stability Radar for Monitoring Mine Walls*. Mining Risk Management Conference, Sydney, NSW, 9-12 September 2003, pp 1 – 12.
- Reeves, B., Noon, D., Stickley, G., and Longstaff, D. 2001. *Slope stability radar for monitoring mine walls*. In *Proceedings of SPIE*
- Solar panel kit, (20 Juni 2024), [Solar panel kit - CPS2 User Manual - Confluence \(groundprobe.com\)](https://groundprobe.com)

Studi Perolehan Emas Pada *Slag* Hasil Pemurnian Bullion Emas Menggunakan Metode Pelindian Asam Klorida di PT Sucofindo Bekasi

Rizal Adianto^{*1)}, Infantri Putra²⁾, dan Fahny Ardian³⁾

¹⁾Teknologi Metalurgi, Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung, Jl. Jend. Sudirman No. 623, Kota Bandung, 40211, Indonesia

Email: : adiantorizal12@gmail.com, infantri.putra@esdm.go.id, fahny.ardian@esdm.go.id

ABSTRAK

Proses pemurnian emas menghasilkan produk sampingan berupa *slag* yang mengandung mineral berharga salah satunya adalah emas. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi asam klorida (HCl) dan temperatur terhadap persentase ekstraksi emas dari *slag*. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah hidrometalurgi dengan teknik *agitation leach* pada sampel *low grade concentrate* hasil pemurnian emas. Variasi konsentrasi HCl yang digunakan adalah 2M, 4M, dan 6M, serta variasi temperatur 25°C, 50°C, dan 80°C, dengan variabel tetap berupa persen solid 40%, kecepatan putaran 400 rpm dan waktu pelindian 8 jam. Analisis awal menggunakan metode fire assay gravimetri menunjukkan kandungan emas pada sampel *slag* sebesar 938,70 ppm, yang menegaskan perlunya proses pelindian lebih lanjut untuk memperoleh kembali emas yang ada di *slag*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi HCl dan temperatur berpengaruh positif terhadap persen ekstraksi emas. Pada konsentrasi 6 M dan suhu 80°C, diperoleh persen ekstraksi tertinggi sebesar 80,35%. Kesimpulannya, semakin tinggi konsentrasi HCl dan temperatur, semakin besar persen ekstraksi emas yang diperoleh, menjadikan kombinasi ini sebagai kondisi optimal dalam proses pelindian asam klorida untuk ekstraksi emas dari *slag*.

Kata kunci: Emas, *Slag*, Pelindian, HCl, Temperatur

1. Pendahuluan

Emas merupakan logam yang memiliki nilai dan permintaan yang tinggi di dunia di mana emas terdapat di beberapa mineral seperti mineral sulfida, oksida, *native* dan emas juga hadir sebagai mineral minor. Hal ini disebabkan karena sifat emas yang tahan terhadap suhu tinggi dan lingkungan korosif. Emas tidak bereaksi dengan oksigen, sulfur, nitrogen atau karbon pada semua temperatur (Darmawi, 2018). Beberapa perusahaan tambang dan pengolah emas di Indonesia melakukan proses produksi dari bijih menjadi *bullion*. Pemurnian lebih lanjut menjadi emas dan perak murni dilakukan di perusahaan pemurnian dengan serangkaian proses. Proses utama yang dilakukan adalah metode *electrorefining* di mana emas akan dilebur terlebih dahulu untuk menghasilkan katoda dan selanjutnya melalui proses elektrolisis untuk menghasilkan produk dengan kadar emas yang tinggi. Pada tahap peleburan *bullion* juga menghasilkan produk *slag* atau terak yang sebenarnya masih memiliki kandungan logam mulia.

Slag atau yang dikenal juga sebagai terak merupakan produk sampingan yang berasal dari proses peleburan logam atau pemurnian logam dari bijihnya. Proses peleburan logam melibatkan pemanasan bijih logam pada temperatur tinggi dengan penambahan fluks tertentu untuk mengikat pengotor dan menurunkan titik lebur. Terak terbentuk ketika mineral non-logam, senyawa, atau unsur lain dalam bijih larut serta membentuk suatu lapisan yang mengambang di atas *molten metal* yang kemudian didinginkan menghasilkan terak. Komposisi utama terak adalah senyawa yang mengandung oksida, sulfida, silikat, dan logam-logam lain yang tidak diinginkan. Untuk *slag* hasil dari peleburan emas masih memiliki kadar emas yang cukup tinggi dan masih memungkinkan untuk proses *recovery*.

Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan analisis kadar Au (emas) menggunakan metode *fire assay* di laboratorium SBU mineral dan mendapatkan hasil kadar Au (emas)

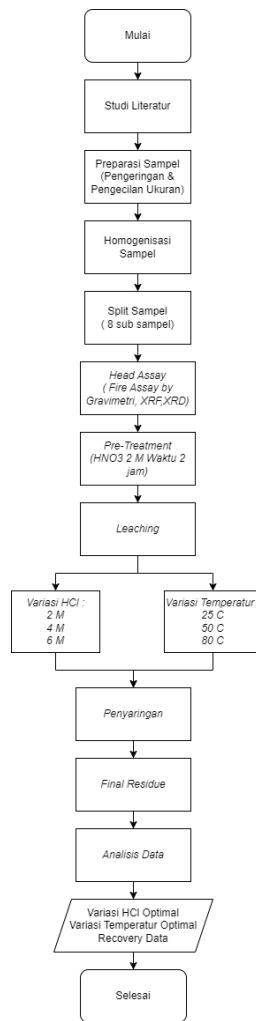
mencapai 600 ppm di mana kadar Au (emas) tersebut masih cukup tinggi untuk produk sampingan hasil pemurnian emas. Metode pelindian dapat menjadi alternatif dalam memproses ulang *slag* hasil pemurnian emas, di mana *slag* direaksikan menggunakan pelarut asam seperti asam nitrat, campuran dari nitrat, asam sulfida dan hidroklorik, *aqua regia*, dan HCl (Filcenco Olteanu, et al. 2014). Pada Penelitian sebelumnya dengan sampel *slag* hasil pemurnian tembaga dengan metode yang sama yaitu pelindian menggunakan asam klorida mendapatkan perolehan emas dengan persen ekstraksi 98% sehingga pada penelitian ini akan dilakukan proses pelindian dengan HCl terhadap sampel *slag* hasil pemurnian emas dengan unsur dominan berupa silika

Dengan berbagai pertimbangan, *slag* yang mengandung mineral dominan silika sering kali menggunakan pelarut berupa HCl, atau asam klorida, dalam proses pelindian emas. Pertama, HCl adalah asam kuat yang dapat bereaksi dengan banyak komponen *slag*, terutama oksida logam, dan membantu melarutkan bagian yang mengandung emas. Kedua, HCl memungkinkan pembentukan senyawa kompleks antara emas dan ion klorida, seperti $[AuCl_4]^-$. Ketiga, HCl dapat membantu melarutkan mineral pengotor lain yang mungkin mengandung atau mengikat emas, membuat emas yang terperangkap dalam *slag* lebih mudah diekstraksi. Hal ini dapat terjadi meskipun silika (SiO_2) relatif *inert* dan tidak larut dalam HCl. Selain itu, karena HCl adalah reagen kimia yang mudah diperoleh dan ditangani, proses pelindian menjadi lebih efisien dan efisien. Reagen asam HCl dapat digunakan sebagai pelarut dalam proses pelindian *slag* karena reagen ini merupakan asam kuat yang dapat terdisosiasi dengan air dan mampu membentuk senyawa $[AuCl_4]^-$. Asam klorida dalam konsentrasi menengah cukup stabil untuk disimpan dan terus mempertahankan konsentrasinya (Murthy, Kumar, dan Rao 2003).

2. Metode Penelitian

Agitation leach adalah suatu proses yang memanfaatkan serangkaian tangki pelindian dan arus pelarut berlawanan dalam urutan terbalik ke aliran padatan di mana ada beberapa teknik operasi seperti operasi tunggal yang dilakukan sekaligus dan kemudian disusul dengan pemisahan larutan dari sisa padatan, dan operasi kontinu dengan sistem bertahap dengan aliran berlawanan (*countercurrent*) dalam sistem ini aliran bawah dan atas mengalir secara bersamaan. Fahira, A. (2022).

Pada penelitian ini parameter yang diamati adalah persen ekstraksi emas terhadap variasi konsentrasi HCl dan temperatur pada saat proses pelindian berlangsung. Pengujian pelindian dilakukan dengan metode *agitation leach test*. Sebelum dilakukan pelindian, sampel dilakukan persiapan seperti pengeringan, pengecilan ukuran serta homogenisasi terlebih dahulu dengan tujuan mendapatkan sampel yang representatif. Parameter tetap yang diaplikasikan pada penelitian kali ini adalah persen solid yang dijaga di 40%, berat sampel sebanyak 200 gram, waktu pelindian 8 jam, kecepatan putaran 400 rpm dan fraksi ukuran sampel di 200# P95. Analisis awal sampel dilakukan dengan identifikasi mineral menggunakan XRD, XRF, serta mengukur kadar Au (emas) berdasarkan berat menggunakan *metode fire assay* by gravimetri. Bagan alir penelitian dapat dilihat pada Gambar.1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.1 Preparasi Sampel

Sampel sebanyak 8,7 kg dikeringkan di dalam oven selama ± 24 jam pada suhu 105°C . Sampel *slag* kering yang sudah dalam bentuk *powder* kemudian dilakukan homogenisasi menggunakan mixer selama 8 jam. Sampel kemudian di split untuk dilakukan analisis *Fire Assay by gravimetri*, XRD, dan XRF. Uji XRD dilakukan untuk mengetahui senyawa apa saja yang terkandung dalam *slag* sedangkan uji XRF dilakukan untuk mengetahui kuantitas dari senyawa oksida maupun unsur yang ada dalam *slag* sehingga dapat ditentukan *reagent pelindi* yang tepat.

2.2 Proses Agitation Leaching

Sampel bijih yang sudah diayak $\pm 200\#$ sebanyak 200 gram dan larutan asam dengan konsentrasi yang ditentukan sebanyak 300 mL dimasukkan ke dalam gelas beaker di mana gelas beaker digunakan sebagai tangki untuk pelindian dengan kecepatan agitasi berjalan pada 400 rpm. Sebelum dilakukan proses pelindian sampel *slag* terlebih dahulu dilakukan proses *pre-treatment* yang berfungsi untuk melarutkan kandungan Timbal (Pb). Sampel yang digunakan pada proses pelindian merupakan sampel hasil *pre-treatment* yang berupa residu karena fasa larutan dalam proses *pre-treatment* mengandung Pb yang tidak menjadi logam target. Pada saat pelindian dilakukan penambahan reagen HCl dilakukan secara berkala sesuai dengan variasi konsentrasi yang diinginkan agar sampel padatan tercampur dengan baik dan menjadi *slurry*.

Sampel dilakukan proses pelindian selama 8 jam. Setelah itu, *slurry* dilakukan penyaringan untuk mendapatkan final residu yang akan dikeringkan di dalam oven selama 24 jam lalu dilakukan pengujian kadar emas dan perak menggunakan metode *fire assay*. Setelah kadar dalam *solution* dan residu didapatkan tahap selanjutnya adalah dilakukan perhitungan persen ekstraksi untuk mengetahui keberhasilan proses pelindian. Hal serupa dilakukan juga dengan melakukan variasi temperatur proses pelindian

3. Hasil dan Pembahasan

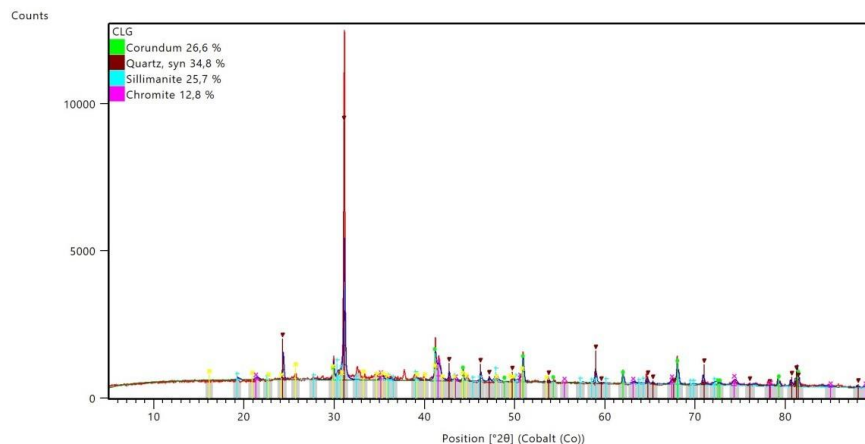
Data yang yang digunakan dalam perhitungan persentase ekstraksi emas menggunakan data yang berasal dari residu hasil pelindian. Sampel residu hasil pelindian dengan variasi konsentrasi HCl dan variasi temperatur proses pelindian tahap selanjutnya dilakukan proses *drying* dilanjutkan dengan uji *Fire Assay* untuk mengetahui kandungan emas. Berikut merupakan rumus yang digunakan untuk menghitung persen *recovery* emas pada penelitian ini.

$$\% \text{Ekstraksi} = \frac{\text{Berat emas pada larutan}}{\text{Berat emas pada sampel awal}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\% \text{Ekstraksi} = \frac{\text{Head assay} - \text{residu}}{\text{Head assay}} \times 100\% \quad (2)$$

3.1 Analisis Menggunakan XRD

Hasil proses pemurnian menghasilkan produk berupa emas dan *slag*, hasil dari *slag* ini kita akan analisis menggunakan XRD untuk mengetahui mineral apa saja yang terkandung di dalamnya. Hasil yang didapat dari analisis XRD yaitu *corundum* 26,6%, *silika* 34,8%, *Siliminite* 25,7%, dan *chromite* 12,8% yang ditunjukkan pada Gambar. 2.



Gambar. 2 Hasil Analisis XRD sampel *slag*

3.2 Analisis Menggunakan XRF

Dari data persentase di atas memberikan gambaran umum tentang komposisi mineral yang terkandung di dalam sampel di mana sampel *slag* ini dinominasi dengan SiO_2 dengan perolehan 32,87%. Lalu yang kedua adalah Al_2O_3 dengan perolehan 23,27% mengindikasikan keberadaan aluminium pada sampel juga dominan. Untuk emas sendiri mendapatkan perolehan sebesar 0,06% atau sekitar 600 ppm pada sampel *slag* tersebut. Kemungkinan emas yang berada masih terasosiasi dengan mineral lain seperti silika sehingga terbaca oleh XRF dan di mana kandungan emas 600 ppm ini masih bisa di daur ulang dengan metode yang tepat agar *slag* tidak dibuang dan dapat mencemari lingkungan apabila tidak diolah kembali.

Tabel 1. Hasil Uji XRF slag

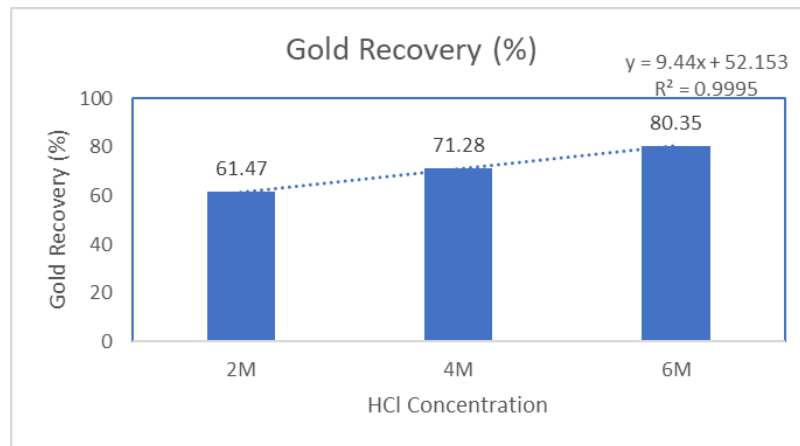
Elemen	Unit	Limit Deteksi
SiO ₂	%	32.87
Al ₂ O ₃	%	23.27
Fe ₂ O ₃	%	11.51
Au	%	0.06
ZnO	%	1.02
CaO	%	4.57
Na ₂ O	%	12.48
K ₂ O	%	0.57
PbO	%	0.72
Lainnya	%	12.53

3.3 Pengaruh konsentrasi HCl terhadap persen ekstraksi emas

Dari Tabel 2. dan Gambar.3 menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi HCl, semakin besar persen ekstraksi emas yang didapat. Pada konsentrasi 6M, terlihat pada temperatur 25°C, persen ekstraksi mencapai 25.39%, sedangkan pada konsentrasi 2 M hanya mencapai 13.42%, dan pada konsentrasi 4 M sebesar 19.73%. Hal ini sesuai dengan teori bahwa semakin tinggi konsentrasi HCl, semakin besar persen ekstraksi yang diperoleh. Dengan konsentrasi HCl yang semakin tinggi, jumlah ion Cl dalam pelarut juga meningkat, memungkinkan lebih banyak unsur emas yang teroksidasi dalam larutan. Sesuai teori, pelindian emas membutuhkan asam dengan tingkat keasaman yang tinggi.

Tabel 2. Perhitungan Persen Ekstraksi

Test Variation		Au, ppm		Ekstraksi, %
Temperature [C]	Acid Concentration, M	Initial	Residue	
25	2	938.70	812.72	13.42
25	4	938.70	753.50	19.73
25	6	938.70	700.40	25.39
50	2	938.70	274.48	70.76
50	4	938.70	272.00	71.02
50	6	938.70	250.33	73.33
80	2	938.70	361.70	61.47
80	4	938.70	269.64	71.28
80	6	938.70	184.47	80.35



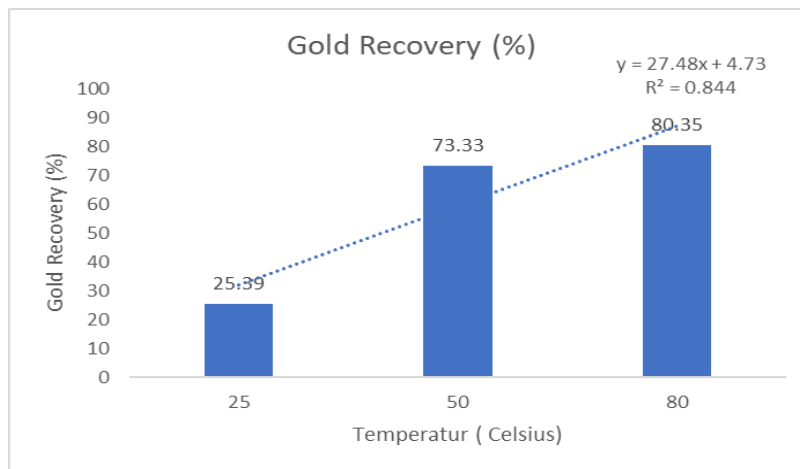
Gambar 3. Grafik pengaruh konsentrasi HCl terhadap persen ekstraksi emas pada temperatur 80°C

Kinetika laju reaksi juga meningkat dengan kenaikan temperatur, yang menurunkan energi aktivasi dan mempercepat regenerasi gas Cl₂, yang diperlukan untuk mengoksidasi emas. Meningkatkan konsentrasi HCl memiliki beberapa manfaat positif, seperti meningkatkan reaktivitas ion dalam proses pelindian dan jumlah ion H⁺ serta Cl⁻ dalam larutan. Ion H⁺ membantu melarutkan oksida logam pengotor, sementara ion Cl⁻ membentuk kompleks dengan ion emas, seperti [AuCl₄], yang larut dalam air. Pembentukan kompleks klorida dengan emas meningkat seiring dengan konsentrasi klorida yang lebih tinggi, meningkatkan kelarutan emas dalam larutan pelindian. Untuk memaksimalkan persen ekstraksi emas, kombinasi temperatur dan konsentrasi HCl yang ideal sangat penting. Temperatur yang lebih tinggi mempercepat laju reaksi, sementara konsentrasi HCl yang lebih tinggi meningkatkan ketersediaan ion untuk bereaksi dengan emas, meningkatkan efisiensi ekstraksi. Namun, perlu diingat bahwa ada batas ideal karena temperatur atau konsentrasi yang terlalu tinggi dapat menyebabkan korosi peralatan atau dekomposisi reagen (Radulescu et al., 2008). Dalam proses pelindian emas, baik temperatur maupun konsentrasi HCl sangat penting untuk menentukan efisiensi proses dan persen ekstraksi emas. Temperatur yang lebih tinggi meningkatkan laju reaksi, mengurangi energi aktivasi, sementara peningkatan konsentrasi HCl meningkatkan ketersediaan ion Cl untuk bereaksi dengan emas dan menghasilkan kompleks klorida yang lebih stabil. Kombinasi temperatur dan konsentrasi HCl yang ideal menghasilkan proses pelindian yang lebih efisien, yang pada akhirnya meningkatkan tingkat ekstraksi emas.

3.4 Pengaruh Temperatur terhadap persen ekstraksi emas menggunakan HCl.

Pada Gambar.4 menunjukkan bahwa pada temperatur 25°C, persen ekstraksi emas berada pada 61.47%, pada temperatur 50°C sebesar 73.33%, dan pada temperatur 80°C mencapai 80,35%. Dari data ini dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi temperatur selama proses pelindian, semakin tinggi pula persen ekstraksi emas yang diperoleh. Temperatur merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi kinetika laju reaksi pelindian, dengan temperatur yang lebih tinggi mempercepat laju reaksi dan membantu destruksi sampel selama pelindian. Pada temperatur yang lebih rendah, seperti 25°C, energi aktivasi masih tinggi, sehingga kemampuan asam untuk mengoksidasi tidak selektif dan bereaksi dengan mineral lain. Sebaliknya, pada temperatur 80°C, laju reaksi meningkat dan energi aktivasi menurun, membuat proses pelindian lebih selektif terhadap emas. Hubungan antara temperatur dan ekstraksi emas pada konsentrasi asam 6M dapat dijelaskan dengan persamaan regresi linier $y = 27.48x + 4.73$, di mana setiap kenaikan temperatur 1°C meningkatkan ekstraksi emas sebesar 29.507%. Koefisien determinasi (R^2) sebesar 0.844 menunjukkan model ini sangat baik dalam menjelaskan variasi data. Berdasarkan Gambar. 4 menunjukkan pengaruh signifikan temperatur

terhadap efisiensi ekstraksi emas dalam penelitian ini.



Gambar 4. Grafik pengaruh temperatur terhadap persen ekstraksi emas pada konsentrasi HCl 6M

4. Simpulan

Dari penelitian yang sudah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa analisis awal menggunakan metode *fire assay* gravimetri menunjukkan bahwa kandungan emas pada sampel *slag* masih tinggi, dengan kadar Au (emas) sebesar 938.70 ppm, sehingga perlu diproses kembali menggunakan metode pelindian sebagai alternatif. Studi proses pelindian *slag* menggunakan asam dengan variabel bebas menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi asam HCl, semakin tinggi persen ekstraksi yang diperoleh. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada konsentrasi 6M, persen ekstraksi mencapai 25.39%. Hal ini disebabkan oleh tingginya konsentrasi asam yang meningkatkan ketersediaan ion Cl untuk berikatan dengan Au, sehingga persen ekstraksi semakin tinggi. Selain itu, studi juga menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur, semakin besar persen ekstraksi yang diperoleh. Pada temperatur 80°C dengan konsentrasi 6M, hasil yang diperoleh adalah persen ekstraksi sebesar 80.35%. Temperatur yang lebih tinggi membantu mempercepat laju reaksi selama proses pelindian, sehingga meningkatkan efisiensi ekstraksi emas dari *slag*.

Daftar Pustaka

- Afifah, Zulfa, Kurniyawan Kurniyawan, and Thorikul Huda. (2019). "Verifikasi Metode Penentuan Kadar Timbal (Pb) Pada Sampel Udara Ambien Menggunakan Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES)." *IJCA (Indonesian Journal of Chemical Analysis)* 2(2): 74–79.
- Bazan, Vanesa, Elena Brandaleze, Marcelo Valentini, and Natalia Hidalgo. (2015). "Characterization of Slags Produced During Gold Melting Process." *Procedia Materials Science* 8(December): 851–60. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mspro.2015.04.145>.
- Bidari, Bias Robby. 2015. "Peningkatan Kadar Emas Pada Batuan Dari Gunung Botak Pulau Buru (Maluku) Dengan Pelarutan Asam Dan Kombinasi Asam Dengan Kalium Iodida." Skripsi.
- Christyaningsih, Rista Yuniar, and Universitas Diponegoro. 2020. "Aplikasi Fisika Kuantum-Hamburan Pada " X-Ray Diffraction (XRD)" ." (June).

- Fahira, A. (2022). Studi Ekstraksi Bijih Emas Kaya Tembaga Pt Nusa Halmahera Minerals Pada Proses Sianidasi Dengan Metode *Pulverized Bottle Roll* (Doctoral Dissertation, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta).
- Filcenco Olteanu, Antoneta et al. 2014. "Experimental Process Analysis and Mathematical Modeling for Selective Gold Leaching from *Slag* through Wet Chlorination." *Hydrometallurgy* 144–145: 170–85. <http://dx.doi.org/10.1016/j.hydromet.2014.02.011>.
- Habashi, F. 2016. "Gold – An Historical Introduction." *Gold Ore Processing: Project Development and Operations* (December 2016): 1–20.
- Jamaludin, Agus, and Darma Adiantoro. 2012. "Analisis Kerusakan X-Ray Fluorescence (XRF)." *Batan* 5(9–10): 19–28. <http://jurnal.batan.go.id/index.php/pin/article/view/1130>.
- Lunt, D., and T. Weeks. 2016. *Gold Ore Processing: Project Development and Operations Process Flowsheet Selection*. Elsevier B.V.
- Mortier, T. 2006. Status: Published An Experimental Study on the Preparation of Gold Nanoparticles and Their Properties. <https://lirias.kuleuven.be/handle/1979/254>.
- Murthy, D. S.R., Vinod Kumar, and K. V. Rao. 2003. "Extraction of Gold from an Indian Low- Grade Refractory Gold Ore through Physical Beneficiation and Thiourea Leaching." *Hydrometallurgy* 68(1–3): 125–30.

Studi Risiko Ekologi Kegiatan *Decommissioning/In situ Abandonment* Fasilitas Migas di Indonesia

Mashudi^{*1,2)}, Budi Suswanto^{1,3)}, dan Irwan Susilo⁴⁾

¹⁾ Program Profesi Insinyur, Sekolah Interdisiplin Manajemen dan Teknologi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Kampus ITS Tjokroaminoto, Jl. Cokroaminoto 12A, Kota Surabaya, 60264, Indonesia

²⁾ Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Kampus Utama Sukolilo, Jl. Teknik Kimia, Kota Surabaya, 60111, Indonesia

³⁾ Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Kampus Utama Sukolilo, Jl. Teknik Kimia, Kota Surabaya, 60111, Indonesia

⁴⁾ INKINDO Jawa Timur, Jl. Rungkut Asri Utara No.VII / 7, Kota Surabaya, Indonesia

Email: mashudi1993@its.ac.id, budi_suswanto@its.ac.id, Irwan@geospasia.com

ABSTRAK

Pengeboran migas lepas pantai didukung oleh fasilitas seperti sumur produksi, saluran produksi, unit pengolahan, dan peralatan lain. Fasilitas ini akan terus beroperasi hingga kontrak selesai dan memasuki masa pasca-operasi dimana kegiatan *decommissioning/in-situ abandonment* perlu dilakukan. Kajian risiko kelautan, termasuk risiko ekologi perlu dilakukan sebelum proses berlangsung. Kajian ini memperkirakan pengaruh *decommissioning/in-situ abandonment* terhadap ekosistem-ekosistem penting di wilayah laut. Kajian risiko ekologi ini menggunakan panduan *Environmental Protection Agency* (EPA) dengan modifikasi. Kajian dimulai dengan mengidentifikasi sumber bahaya, melihat ekosistem penerima dampak, dan menghitung nilai risikonya. Hasil kajian menunjukkan bahwa ada lima fasilitas yang berpotensi menjadi sumber bahaya dan tiga ekosistem penerima dampak. Hasil kajian risiko menunjukkan bahwa secara umum risiko ekologi kegiatan *decommissioning/in-situ abandonment* masuk dalam kategori rendah. Akan tetapi, ada beberapa bahan kimia kategori B3 yang belum diketahui karakter ekotoksikologinya sehingga perlu kajian lanjutan untuk memastikan dampaknya terhadap ekosistem.

Kata kunci: *decommissioning/in-situ abandonment*, migas, risiko ekologi, studi risiko

1. Pendahuluan

Pengeboran migas lepas pantai pada umumnya didukung oleh fasilitas-fasilitas produksi yang letaknya puluhan hingga ratusan kilometer dari pesisir. Fasilitas ini dapat berupa sumur produksi, saluran produksi, unit pengolahan, dan utilitas lain pendukung aktivitas pengeboran. Fasilitas ini akan terus beroperasi hingga kontrak selesai dan memasuki masa pasca-operasi. Pada tahapan pasca-operasi ini proses *decommissioning/in-situ abandonment* perlu dilakukan sebagaimana diatur dalam Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 15 Tahun 2018.

Terdapat ribuan sumur pengeboran migas yang perlu dilakukan *decommissioning/in-situ abandonment* dalam kurun waktu 15 tahun mendatang karena telah habis masa produktifnya (Vidal et al. 2022). Di Asia Tenggara, termasuk Indonesia juga akan banyak sumur produksi migas yang akan segera ditutup dalam waktu dekat (Lyons 2014). Salah satu dari sumur tersebut, yang juga menjadi objek studi kali ini, letaknya ada di sekitar Selat Makassar dan telah beroperasi selama puluhan tahun. Sumur ini memiliki dua lapangan utama yang letaknya sekitar 175 km dari Kota Balikpapan dan memiliki kedalaman lebih dari 1000 meter.

Sebelum dilaksanakan kegiatan *decommissioning/in-situ abandonment* diperlukan kajian risiko kelautan yang salah satu aspeknya membahas terkait dengan risiko ekologi. Di Indonesia sendiri, kegiatan ini diatur dalam PTK-040/SKKIA0000/2023/S9 tentang *abandonment and site restoration*. Kajian risiko ekologi kali ini bertujuan untuk memperkirakan dampak *decommissioning/in-situ abandonment* fasilitas migas lepas pantai terhadap ekosistem-

ekosistem penting. Setelah diketahui tingkat risikonya, hasil kajian ini juga dapat dimanfaatkan untuk menyusun langkah-langkah preventif dan mitigasi dampak ekologi dari kegiatan terkait.

2. Metode

Kajian risiko ekologi kegiatan *decommissioning/in-situ abandonment* kali ini dilaksanakan dengan mengikuti kerangka acuan analisis risiko ekologi yang diterbitkan oleh *Environmental Protection Agency* (EPA) dan Holsman et al. 2017 tentang analisis risiko kelautan berbasis ekosistem. Tahapan utama dalam analisis risiko dimulai dari identifikasi sumber bahaya dan ekosistem penerima dampak, perhitungan risiko ekologi, dan rekomendasi pengendalian risiko. Secara lebih lengkap, metode analisis ekologi meliputi tahapan-tahapan sebagai berikut:

A. Identifikasi sumber Bahaya dan Ekosistem Penerima Dampak

Informasi terkait sumber bahaya banyak diperoleh dari kegiatan *workshop* HAZID yang diselenggarakan bersama antara tenaga ahli, perusahaan, dan pelaksana kegiatan. Diketahui sumber bahaya dapat berasal dari fasilitas-fasilitas produksi yang akan ditinggalkan seperti kabel tambat, pipa ekspor minyak/gas terkubur, pipa ekspor minyak/gas terbuka, jalur produksi *flowline* minyak/gas, dan *umbilical* produksi. Selain itu, sumber bahaya ekologi juga dapat diidentifikasi dari jenis-jenis bahan kimia yang digunakan dalam proses *decommissioning/in-situ abandonment* dan bahan kimia residu produksi. Karakterisasi bahaya yang meliputi jumlah dan tingkat bahaya dibahas secara intensif saat HAZID yang dipandu oleh fasilitator bersertifikat dan berpengalaman puluhan tahun di industri migas. Hasil HAZID inilah yang menjadi acuan utama dalam melakukan analisis risiko ekologi tahap selanjutnya.

Selain mengetahui sumber bahaya, dalam analisis risiko ekologi, identifikasi ekosistem penerima dampak juga menjadi faktor penting. Pada kegiatan *decommissioning/in-situ abandonment*, diperkirakan ekosistem laut seperti terumbu karang, lamun, dan mangrove di pesisir timur Kalimantan akan menjadi penerima dampak. Ekosistem-ekosistem ini, bersama dengan fauna rentan seperti penyu dan hiu disepakati menjadi objek utama kajian risiko ekologi sebagai penerima dampak. Kajian sensitivitas lingkungan yang sebelumnya telah dilakukan oleh perusahaan di area studi dijadikan panduan untuk mengetahui sebaran dan kondisi ekosistem dan fauna penerima dampak.

B. Perhitungan Risiko Ekologi

Besaran risiko ekologi diperkirakan dengan dua pendekatan yaitu pemodelan pencemaran dan perhitungan indeks pencemaran. Pemodelan pencemaran dilakukan menggunakan perangkat lunak *Delf 3* yang mengolah data batimetri di area studi dan informasi karakter pencemar dari HAZID. Hasil pemodelan ini dapat membantu memperkirakan sebaran pencemar yang bersumber dari fasilitas/bahan kimia yang lokasinya di tengah laut hingga ke ekosistem penerima yang hidupnya banyak di tepi laut. Kemudian, untuk jenis pencemar yang masuk dalam baku mutu kualitas air laut, perubahan indeks pencemaran juga dapat diperhitungkan sesuai dengan Kepmen LH No. 115 tahun 2003.

Hasil pemodelan dan perhitungan indeks pencemaran digunakan untuk memperkirakan tingkat keparahan (*severity*) dan kemungkinan (*likelihood*) kejadian. Hasil ini melengkapi perkiraan indikatif yang sebelumnya telah diperoleh dari HAZID. Hasil perkiraan tingkat keparahan (*severity*) dan kemungkinan (*likelihood*) inilah yang dihitung menjadi nilai risiko ekologi menggunakan matriks risiko seperti Tabel 1.

Tabel 1. Matriks risiko ekologi

Matriks Risiko		Likelihood				
		1	2	3	4	5
Severity	6	6	12	18	24	30
	5	5	10	15	20	25
	4	4	8	12	16	20
	3	3	6	9	12	15
	2	2	4	6	8	10
	1	1	2	3	4	5

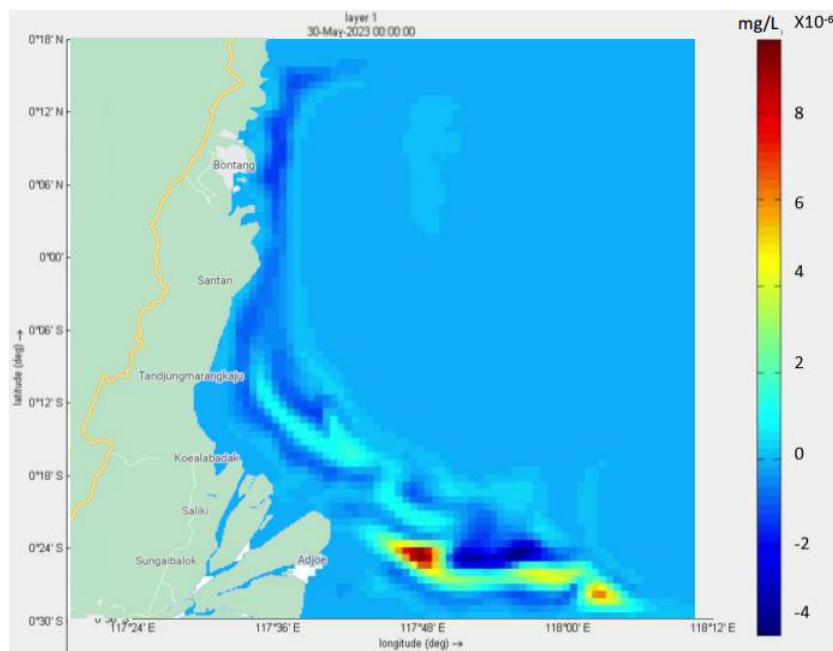
Sumber: BSN, SNI ISO 31000 (2018) dengan modifikasi

3. Hasil dan Pembahasan

analisis risiko ekologi dilakukan secara bertahap pada lima fasilitas produksi migas lepas pantai yang akan di *decommissioning/in-situ abandonment*. Risiko yang diungkapkan fokus pada dampak jangka panjang setelah kegiatan selesai. Area studi dalam kajian ini mencakup pesisir sisi timur pulau Kalimantan dengan panjang pantai sekitar 300 km yang membentang dari Kutai Timur hingga wilayah Delta Mahakam. Adapun hasil kajian adalah sebagai berikut:

3.1. Kabel tambat

Berdasarkan hasil HAZID, kabel tambat akan ditinggalkan pada kedalaman lebih dari 1000 meter di bawah permukaan air laut. Potensi bahaya yang muncul adalah kemungkinan korosi *carbon steel* yang merupakan bahan utama kabel tambat sehingga melepaskan unsur Fe dan Mn ke lingkungan. Besaran dampak diperkirakan tidak signifikan karena ukurannya yang tidak terlalu besar dan lokasinya puluhan kilometer dari ekosistem/fauna penting. Hasil *dispersion modeling* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Hasil pemodelan cemaran Fe/Mn fasilitas kabel tambat

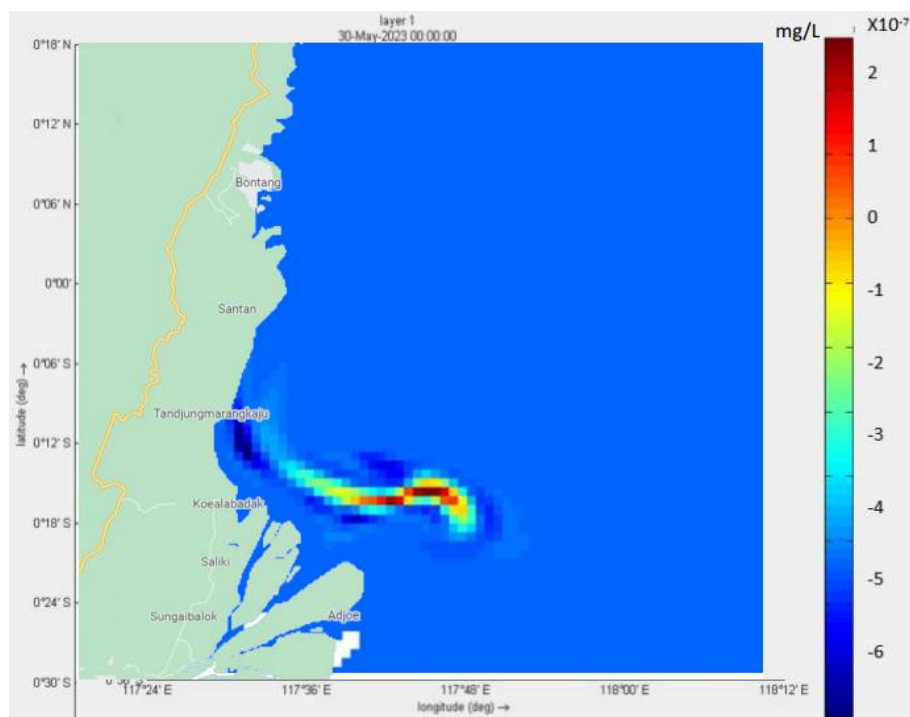
Berdasarkan hasil tersebut diperkirakan cemaran Fe dan Mn akan sampai ke ekosistem penerima dampak. Akan tetapi karena konsentrasinya yang kecil yaitu sekitar $9,4 \cdot 10^{-7}$ mg/L untuk Fe dan $2,8 \cdot 10^{-8}$ mg/L untuk Mn, risiko yang ditimbulkan terhadap ekosistem tidaklah signifikan. Oleh karena itu, hasil akhir penilaian risiko untuk fasilitas kabel tambat adalah 2 dan termasuk risiko rendah. Hasil penentuan nilai risiko kabel tambat dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2 Matriks risiko ekologi fasilitas kabel tambat

Matriks Risiko		Likelihood				
		1	2	3	4	5
Severity	6	6	12	18	24	30
	5	5	10	15	20	25
	4	4	8	12	16	20
	3	3	6	9	12	15
	2	2	4	6	8	10
	1	1	2	3	4	5

3.2. Pipa ekspor minyak/gas terkubur

Hasil HAZID mengungkapkan bahwa panjang pipa yang akan ditinggalkan adalah sekitar 62 kilometer dengan diameter 12 inch. Terdapat dua pipa berukuran serupa, satu untuk mengalirkan minyak dan satunya gas. Zat pencemar yang muncul adalah sisa TPH, *flushing water* yang mengandung *Hydrosure* 1000 ppm dan Fe/Mn yang merupakan bahan dari pipa tersebut. Diperkirakan akan ada risiko ekologi sedang akibat dari pencemar-pencemar yang keluar dari pipa ini. Adapun hasil pemodelan sisa *flushing water* yang mengandung TPH dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Hasil pemodelan cemaran TPH fasilitas pipa ekspor

Hasil pemodelan tersebut menunjukkan bahwa akan ada sekitar $2,6 \cdot 10^{-7}$ mg/L residu minyak yang sampai ke wilayah pesisir. Jumlah ini jika dimasukkan dalam perhitungan indeks pencemaran akan menghasilkan indeks sebesar 0,38 di mana masuk dalam kategori lingkungan baik. Oleh karena itu, berdasarkan hasil pemodelan, dampak residu minyak terhadap ekosistem diperkirakan akan kecil atau tidak signifikan. Nilai risiko yang diakibatkan dari pipa ekspor ini adalah 2 dan termasuk risiko rendah sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Matriks risiko ekologi fasilitas pipa ekspor

Matriks Risiko		Likelihood				
		1	2	3	4	5
Severity	6	6	12	18	24	30
	5	5	10	15	20	25
	4	4	8	12	16	20
	3	3	6	9	12	15
	2	2	4	6	8	10
	1	1	2	3	4	5

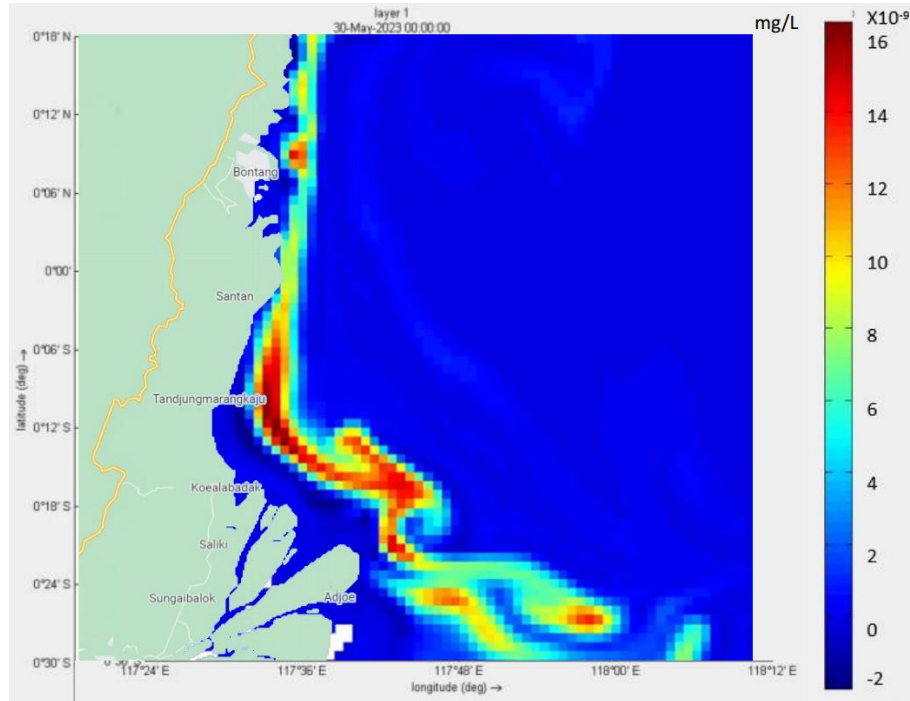
Meskipun hasil perkiraan risikonya rendah, terdapat potensi cemaran bahan kimia dari fasilitas ini seperti vanadium dan *quaternary ammonium chloride* yang berpotensi menimbulkan gangguan ekosistem. Meskipun konsentrasinya rendah berdasarkan pemodelan yaitu $1,48 \cdot 10^{-10}$ mg/L dan $5,8 \cdot 10^{-9}$ mg/L, namun karena memiliki potensi B3, sebaiknya dilakukan kajian ekotoksikologi terhadap bahan kimia ini.

3.3. Pipa ekspor minyak/gas terbuka

Risiko ekologi pada fasilitas ini dianggap serupa dengan fasilitas sebelumnya karena memang tersambung. Perbedaannya adalah pipa terletak di atas permukaan tanah (tidak terkubur), jaraknya kurang dari 5 kilometer dari pantai, dan ukurannya lebih pendek yaitu sekitar 4 kilometer. Hasil HAZID memperkirakan bahwa akan timbul risiko ekologi sedang karena bahan-bahan kimia yang digunakan dalam proses *decommissioning/in-situ abandonment* pada fasilitas ini. Meskipun demikian, secara kuantitatif, hasil pemodelan menunjukkan bahwa risiko yang ditimbulkan akan rendah karena konsentrasi cemaran sangat kecil, serupa dengan fasilitas sebelumnya.

3.4. Jalur produksi *flowline* minyak/gas

Fasilitas ini merupakan penghubung antara sumur pengeboran dan fasilitas pengolahan pada industri migas lepas pantai. Panjangnya sekitar 22 km dengan ukuran diameter yang lebih kecil dibandingkan dengan pipa ekspornya yaitu sekitar 9,5 inchi. Berdasarkan hasil HAZID, diperkirakan akan timbul risiko ekologi sedang dari fasilitas ini. Bahan pencemar yang akan keluar adalah sisa hidrokarbon dan surfaktan SurDecon yang digunakan untuk pencucian sebelum ditinggalkan. Gambar hasil pemodelan pencemar dari fasilitas ini dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 3 Hasil pemodelan cemaran SurDecon fasilitas *flowline* produksi

Berdasarkan hasil pemodelan tersebut dapat dilihat bahwa konsentrasi SurDecon yang akan sampai ke pesisir adalah maksimal $1,6 \cdot 10^{-8}$ mg/L. Di dalam SurDecon terdapat kandungan Benzenesulfonic acid dan D-Limonene sebesar $3,2 \cdot 10^{-9}$ mg/L. Kedua senyawa ini memiliki potensi B3 sehingga perlu dilakukan pengujian ekotoksikologi untuk memastikan dosis toksisitasnya. Meskipun demikian, karena konsentrasinya sangat kecil diperkirakan bahaya ekologi yang ditimbulkan akan rendah sebagaimana ditunjukkan pada tabel 4.

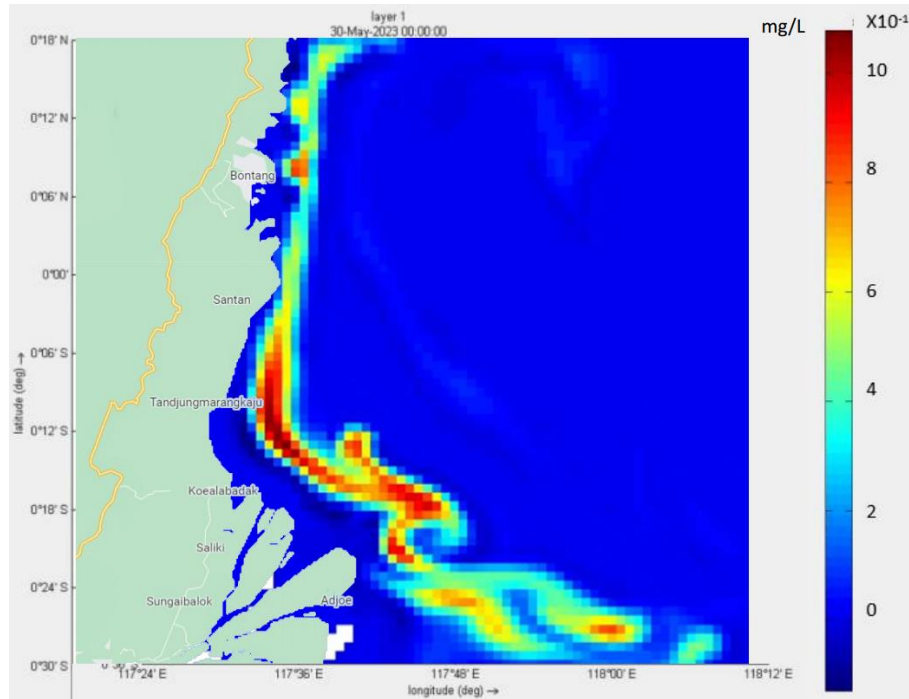
Tabel 4 Matriks risiko ekologi fasilitas *flowline* produksi

Matriks Risiko		Likelihood				
		1	2	3	4	5
Severity	6	6	12	18	24	30
	5	5	10	15	20	25
	4	4	8	12	16	20
	3	3	6	9	12	15
	2	2	4	6	8	10
	1	1	2	3	4	5

3.5. Jalur *umbilical* produksi

Fasilitas ini terdiri dari rangkaian kabel dan saluran berukuran kecil yang letaknya berdampingan dengan *flowline*. Panjangnya juga sama dengan *flowline* yaitu sekitar 22 kilometer dan lokasinya puluhan kilometer dari pesisir. Jenis pencemar yang muncul juga serupa yaitu sisa hidrokarbon dan SurDecon. Akan tetapi, ada satu bahan kimia tambahan berupa *wax inhibitor* yang khas ada di fasilitas ini sebagai potensi pencemar ekosistem. Berdasarkan HAZID, risiko ekologi rendah diperkirakan akan muncul.

Berdasarkan pemodelan, jumlah SurDecon yang akan keluar ke lingkungan sama dengan fasilitas sebelumnya dan dapat dilihat pada Gambar X. Untuk potensi pencemaran *wax inhibitor* diperkirakan akan ada sekitar 850 galon dari sumber sehingga ketika dimodelkan akan ada $1,08 \cdot 10^{-9}$ mg/L cemaran bahan ini di pesisir seperti ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4 Hasil pemodelan cemaran *wax inhibitor* fasilitas *umbilical* produksi

Komponen berbahaya yang ada dalam *wax inhibitor* antara lain adalah *Xylene*, *Ethylbenzene* dan *2-Ethylhexanol*. Berdasarkan hasil pemodelan, konsentrasi masing-masing senyawa tersebut secara berurutan adalah $5,04 \cdot 10^{-10}$ mg/L, $2,52 \cdot 10^{-10}$ mg/L, dan $2,52 \cdot 10^{-10}$ mg/L. Meskipun dalam konsentrasi yang kecil, studi ekotoksikologi diperlukan untuk memastikan dampaknya terhadap ekosistem penting. Nilai risiko ekologi dari fasilitas ini diperkirakan rendah karena kegiatan dilakukan di tengah laut sehingga konsentrasi cemaran yang sampai ke pesisir jumlahnya kecil. Hasil penilaian risiko ekologi fasilitas ini dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5 Matriks risiko ekologi fasilitas *umbilical* produksi

Matriks Risiko		Likelihood				
		1	2	3	4	5
Severity	6	6	12	18	24	30
	5	5	10	15	20	25
	4	4	8	12	16	20
	3	3	6	9	12	15
	2	2	4	6	8	10
	1	1	2	3	4	5

4. Simpulan

Dari hasil studi, dapat disimpulkan bahwa proses analisis risiko ekologi dapat dilakukan dengan mengidentifikasi sumber bahaya dan ekosistem penerima, penilaian risiko, dan pemberian rekomendasi pengendalian risiko. Secara umum, kegiatan *decommissioning/in-situ abandonment* pada lima fasilitas penunjang produksi migas memiliki risiko ekologi yang rendah berdasarkan hasil pemodelan dan perhitungan indeks pencemaran. Meskipun demikian, ada beberapa bahan kimia yang berpotensi B3 dan perlu diuji ekotoksikologinya untuk memastikan dampak ekologisnya. Oleh karena itu, kajian ekotoksikologi kelompok senyawa potensial B3 yang digunakan dalam *decommissioning/in-situ abandonment* perlu dilakukan pada penelitian selanjutnya untuk melengkapi kajian risiko ekologi ini.

Daftar Pustaka

- Bandan Standardisasi Nasional. 2018. *Manajemen Risiko Berbasis SNI ISO 31000*. Indonesia.
- Holsman, K, Samhour, J, Cook, G, Hazen, E, Olsen, E, Dillard, M, Kasperski, S, Gaichas, S, Kelble, CR, Fogarty, M & Andrews, K 2017, 'An ecosystem-based approach to marine risk assessment', *Ecosystem Health and Sustainability*, vol. 3, no. 1, p. e01256.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. 2018. *Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 15 Tahun 2018 Tentang Kegiatan Pasca Operasi Pada Kegiatan Usaha Hulu Minyak dan Gas Bumi*. Indonesia
- Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia. 2003. *Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003 Tentang Penentuan Status Mutu Air Dengan Metoda Indeks Pencemaran*. Indonesia.
- Lyons, Y 2014, 'The New Offshore Oil and Gas Installation Abandonment Wave and the International Rules on Removal and Dumping', *The International Journal of Marine and Coastal Law*, vol. 29, no. 3, pp. 480-520.
- Satuan Kerja Khusus Pelaksana Kegiatan Usaha Hulu Minyak dan Gas. 2023. *Pedoman Tata Kerja PTK-040/SKKIA0000/2023/S9 tentang Abandonment and Site Restoration (ASR)*. Indonesia
- United States Environmental Protection Agency (USEPA). 2024. *Ecological Risk Assessment*. Diakses berkala dari: <https://www.epa.gov/risk/ecological-risk-assessment>
- Vidal, PdCJ, González, MOA, Vasconcelos, RMD, Melo, DCd, Ferreira, PdO, Sampaio, PGV & Silva, DRd 2022, 'Decommissioning of offshore oil and gas platforms: A systematic literature review of factors involved in the process', *Ocean Engineering*, vol. 255, p. 111428.



Percepatan Making Indonesia 4.0: Transformasi Keinsinyuran dalam Era Revolusi Industri Terkini



Program Studi Teknik Industri | Fakultas Teknik | Surakarta
Jalan Ir. Sutami No.36 A, Jebres, Surakarta