

Simulasi Multi Produk Jalur Perakitan Untuk Meminimumkan Waktu Siklus Produksi

Yustina Tritularsih^{1,2)}, Dr. Eko Liquidanu, ST, MT³⁾

¹⁾Mahasiswa Program Studi Magister Teknik Industri, Universitas Sebelas Maret Surakarta,
Jl. Ir. Sutami No. 36A, Ketingan, Surakarta, 57126

²⁾Staf pengajar Program Studi Teknik Mekatronika, Politeknik ATMI Surakarta,
Jl. Adisucipto/ Jl. Mojo No.1, Laweyan Surakarta, 57145

³⁾ Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret Surakarta,
Jl. Ir. Sutami No. 36A, Ketingan, Surakarta, 57126, Indonesia
Email: yustina_tritularsih@atmi.ac.id, liquidanu@gmail.com

ABSTRAK

Salah satu aspek terpenting dalam merancang multi-produk jalur perakitan adalah keseimbangan. Menurunnya keseimbangan menyebabkan peningkatan waktu siklus produksi serta waktu idle, yang mengarah pada biaya yang lebih tinggi dan efisiensi yang lebih rendah dan dengan demikian produktivitas dari organisasi menjadi lebih rendah. Dalam paper ini, jalur perakitan yang dipelajari disimulasikan menggunakan perangkat lunak Arena untuk menyelidiki fungsionalitas sistem dan kelemahannya. Untuk mengatasi kelemahan ini dan memperbaiki situasi yang sedang berlangsung, maka diperlukan usulan perbaikan sistem dengan mempertimbangkan keterbatasan, untuk menemukan pilihan terbaik. Berdasarkan analisis yang telah dilakukan untuk perbaikan sistem, maka tingkat kesibukan untuk skenario 1 masih terjadi ketidakseimbangan antara stasiun kerja yang satu dengan lainnya. Sedangkan untuk skenario 2 lebih baik karena antara stasiun satu dengan lainnya lebih seimbang.

Keywords: arena, alur perakitan multi-produk, optimasi untuk simulasi

1. Pendahuluan

Salah satu rintangan yang menghambat banyak perusahaan adalah efisiensi jalur produksi dan perakitan. Sehingga untuk meningkatkan proses berbagai teknik yang digunakan, termasuk rekayasa ulang dari proses kerja, *benchmarking*, pengoptimalan penanganan material dan proses mendesain ulang, dan tata letak. Tujuan utama penerapan teknik ini adalah untuk mengurangi biaya dan total waktu dari proses, meningkatkan efisiensi produksi, penggunaan tenaga kerja dan peralatan yang lebih baik dan mengurangi waktu *idle* dan juga untuk menetapkan urutan aktivitas yang optimal. Desain sistem produksi telah lama dianggap sebagai subjek penting karena meningkatnya persaingan global dan perluasan teknologi yang sangat cepat. Jalur perakitan adalah salah satu teknologi produksi yang paling umum dan banyak digunakan di sebagian besar sistem produksi. Untuk merakit produk, sistem perakitan menggunakan seperangkat elemen kerja dan terdiri dari sejumlah *workstation* yang saling terkait, sistem penanganan material dan instruksi tentang cara kerja sistem. Untuk menyeimbangkan jalur perakitan, secara umum pengelompokan sistematis operasi dan elemen kerja sebagai bagian dari *workstation* dengan pembatasan waktu siklus kerja dan batasan khusus lainnya untuk mengoptimalkan pengerjaan. Di antara metode yang digunakan untuk melakukannya solusi optimal yang tepat menggunakan model pemrograman matematis seperti linear, integer, nol-satu, dinamis, pemrograman tujuan, dll. (Scholl dan Becker, 2006). Tetapi ketika jumlah operasi dan *workstation* meningkat, masalah menjadi terlalu rumit untuk diselesaikan dalam jangka waktu yang praktis. Bahkan, dalam hal komputasi, masalah penyetimbangan lini perakitan dianggap *Non-deterministic Polynomial (NP-hard)*, dan untuk alasan ini teknik heuristik dan meta-heuristik digunakan, yang tidak selalu menemukan jawaban yang mendekati jawaban optimal (Anderson dan Ferris, 1994; Lapierre et al., 2006).

Dalam studi ini, untuk menganalisis lini perakitan masalah yang diberikan, teknik

simulasi telah digunakan. Faktanya, peneliti menggunakan teknik populer ini karena kesederhanaannya, mendekati jawaban optimal dan kemampuan membandingkan skenario yang berbeda. Metode analisis matematis, sedapat mungkin, adalah metode yang paling diinginkan dan akurat untuk mempelajari sistem, mereka membuat hasil yang dapat dihitung untuk berbagai nilai parameter model dan dengan akurasi tinggi; tetapi ketika metode analitik tidak praktis karena kompleksitas model, simulasi diterapkan. Target dari makalah ini adalah untuk meminimalkan waktu siklus proses perakitan produk. Oleh karena itu dalam penelitian ini, jalur perakitan yang bersangkutan telah disimulasikan menggunakan perangkat lunak Arena untuk fungsinya untuk dianalisis dan masalah-masalahnya harus diidentifikasi. Untuk mengatasi masalah ini, manajemen organisasi terpaksa mencari solusi yang disarankan, mengingat keterbatasan yang ada.

Pembagian perakitan ini mengambil studi kasus di Perusahaan manufaktur PT. ABC yang terletak di Surakarta.

2. Metode Penulisan

Dalam penelitian ini, sistem perakitan multi-produk dianalisis menggunakan teori antrian dan simulasi. Jalur perakitan terdiri dari tiga elemen utama: mesin, operator dan sistem penanganan material. Jalur perakitan ini mencakup beberapa *workstation*, di mana mesin dan operator melakukan operasi pada produk, dan penanganan material antar stasiun dilakukan oleh *forklift*. Di setiap stasiun, produk mendapat satu langkah lebih dekat ke produk akhir dan akhirnya meninggalkan sistem (Grover, 2001; Monden, 1993).

Proses penelitian adalah sebagai berikut:

- a. pengenalan sistem produksi
- b. menjelaskan masalah dan mengumpulkan data dan informasi dari jalur perakitan
- c. merancang model simulasi menggunakan perangkat lunak Arena
- d. validasi dan akurasi hasil model
- e. analisis model simulasi sistem perakitan dan menyajikan solusi yang disarankan

3. Pembahasan

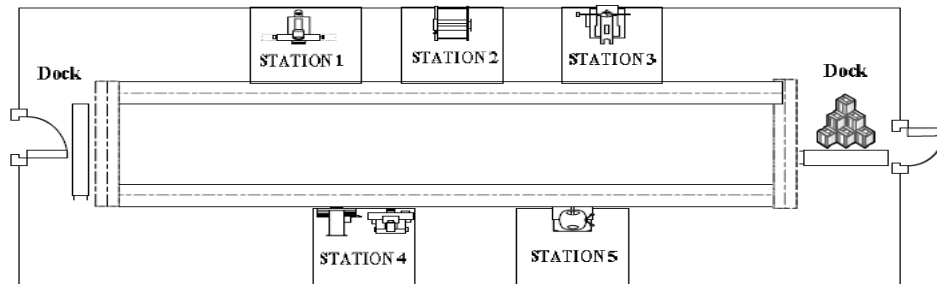
3.1 Pengenalan Sistem Produksi

Perusahaan ini salah satu bisnisnya yaitu menghasilkan produk standar yang berbahan dasar pelat seperti *filling cabinet*, bangku kerja, *hospital bed* dan lain-lain.. Jumlah orang yang bekerja di divisi perakitan untuk produk standar ini adalah 10 orang, peralihannya dari jam 8 pagi hingga jam 16 sore dan ada dua jeda 30 menit. Pada lini ini 2 produk dirakit yang salah satunya memiliki tiga model, berbeda di beberapa bagian dan waktu operasi. Untuk menyederhanakan masalah, mereka dianggap sebagai empat produk standar dengan kategori yang berbeda yaitu *Hospital Equipment* (HE), *School Equipment* (SE), *Office Equipment* (OE) dan *Workshop Equipment* (WE). Pembagian ini meliputi 5 stasiun kerja yaitu stasiun pengepresan (P1), stasiun pengelasan (P2), stasiun pengecatan (P3), stasiun perakitan (P4) dan akhirnya stasiun pemeriksaan (P5). Semua stasiun termasuk mesin dan operator.

3.2 Permasalahan dan mengumpulkan data dan informasi dari jalur perakitan

Sistem produksi yang ditunjukkan pada Gambar 1 merakit empat produk secara bersamaan di 5 *workstation*. Masing-masing dari keempat produk ini memiliki urutan stasiun tertentu. Produk memasuki divisi melalui bongkar muat; mereka melewati urutan stasiun dalam waktu tertentu dan kemudian keluar melalui dok bongkar muat. Urutan dan waktu yang mungkin di masing-masing *workstation* disajikan pada Tabel 1 untuk setiap produk. Penanganan material dilakukan oleh *forklift* manual dan listrik. Ada tiga *forklift* manual yang membawa produk antara stasiun dan dua *forklift* listrik yang membawa mereka antara dermaga

dan stasiun. Waktu muat dan pembongkaran dan kecepatan setiap *forklift*, dimuat dan dibongkar, disajikan pada Tabel 2. Dalam model ini, diasumsikan bahwa sistem penanganan material tidak mengalami penundaan karena kemacetan. Tata letak jalur perakitan saat ini adalah seperti Gambar 1.



Gambar 1. Rich Picture

Tabel 1. Urutan aliran antara workstation dan waktu proses triangular berdasarkan jenis produk

Produk Standar	P1	P2	P3	P4	P5
HE	(8,9,10)	(6,7,8)	(3,4,4,5)	(25, 3, 3, 4)	(5,6,7)
SE	(7,8,9)	(6,7,8)	-	(25, 3, 3, 4)	(7,8,9)
OE	(9,10,11)	-	(4,5,5,5)	(35, 4, 5, 5)	(6,7,8)
WE	(5,6,7)	-	-	(3,2,4,5)	(3,4,5)

Tabel 2. Karakteristik dari sistem transportasi aliran material di jalur perakitan multi-produk

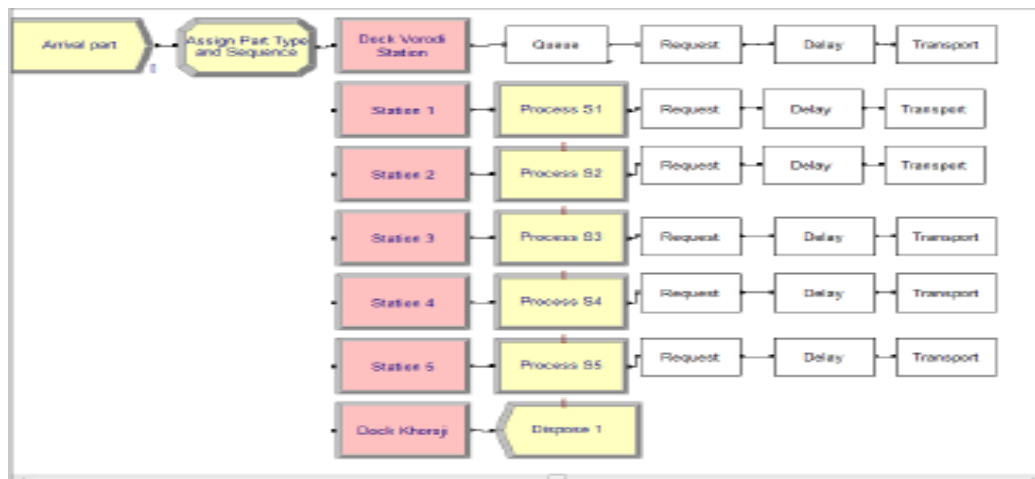
Alat Angkutan	Jumlah	Waktu	Kecepatan	
			Muat dan Bongkar Muat	Kosong / Penuh
Forklift manual	3	TRIA (0.35, 0.4, 0.48)	15	10
Forklift elektrik	2	TRIA (0.24, 0.29, 0.35)	24	18

Perlu dicatat bahwa waktu tempuh antar stasiun tergantung pada kecepatan *forklift* dan jarak antara stasiun dan dermaga, tercantum dalam Tabel 3. Pola umum aliran produk seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 dilewatkan secara bujursangkar karena beberapa kendala ruang.

Tabel 3. Bujursangkar jarak antara workstation dengan memperhatikan jalur perakitan yang ada

Station	P1	P2	P3	P4	P5	Loading dock
Unloading dock	5					
P1		8	16	9	23	
P2			6	21	21	
P3				21	15	
P4					6	
P5						7

3.2 Merancang model simulasi menggunakan software Arena



3.3 Validasi dan akurasi hasil model

Validasi adalah proses yang memastikan perilaku model mirip dengan sistem nyata sedangkan verifikasi adalah proses yang memastikan model Arena berperilaku berdasarkan asumsi model. Dengan kata lain, model harus memiliki keandalan yang wajar bahwa hasilnya benar dan sesuai dengan sistem yang ada. Banyak metode telah disajikan untuk validasi dan meningkatkan keandalan model, salah satunya adalah perbandingan output model dengan output sistem nyata. Untuk melakukannya, model simulasi dijalankan selama satu bulan dan sesuai dengan jadwal produksi dan hasilnya secara statistik dibandingkan dengan sistem nyata, menggunakan uji t berpasangan. Itu berarti perbedaan antara setiap pasangan pengamatan dihitung dan dianggap sebagai variabel acak dengan distribusi normal, μD dan σD masing-masing adalah mean dan standar deviasi dan uji hipotesisnya adalah $H = \mu D = 0$. Tabel 1 menunjukkan hasil dari ini. uji pada jumlah produk, menggunakan *software excel*. Menurut hasil ini, hipotesis diterima, sehingga tingkat kepercayaan 95% bahwa output model simulasi cocok dengan sistem nyata. Menggunakan metode grafik adalah cara lain untuk mencapai tujuan ini. Karena Arena sedang digunakan, mungkin untuk mengamati perilaku sistem secara grafis langkah demi langkah untuk memeriksa apakah itu benar atau tidak. Perilaku model juga harus diamati dalam kondisi ekstrim seperti hanya memiliki satu produk, memiliki nilai yang pasti untuk waktu kedatangan produk atau waktu penanganan produk dan mengubah nilai-nilai ini untuk memprediksi perilaku sistem. Metode ini efektif digunakan untuk mengidentifikasi dan menghapus kesalahan model.

Selain itu, untuk mendapatkan hasil yang benar dan akurat, bias terkait dengan model kondisi awal harus dihilangkan. Dengan kata lain, karena anggapan bahwa sistem kosong atau kosong di awal merusak model, periode pemanasan 20% ditambahkan ke waktu berjalan per hari (648 menit, bukan 540). Langkah kedua adalah menentukan ukuran sampel. Untuk melakukannya, 15 iterasi simulasi, masing-masing selama 540 menit, dijalankan. Kemudian untuk mengetahui apakah $n_0 = 15$ memberikan kepercayaan 95%, mean ($X = 80.12$) dan standar deviasi ($S = 7.35$) dari 15 iterasi dipertimbangkan, dan karenanya, menggunakan

rumus
$$h_0 = t_{n-1, 1-\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}}$$
, interval kepercayaan 95% dihitung menjadi 4,07, yang menunjukkan kesalahan 5% dalam estimasi titik 80.12. Oleh karena itu, untuk mencapai kesalahan kurang dari 1,5%, setengah domain harus dikurangi menjadi 1,2 dan akibatnya

ukuran sampel akan menjadi 115 menggunakan rumus $n \cong n_0 \frac{h_0^2}{h^2}$.

Tabel 4. Uji t-test parsial antara model simulasi dan jalur perakitan yang ada

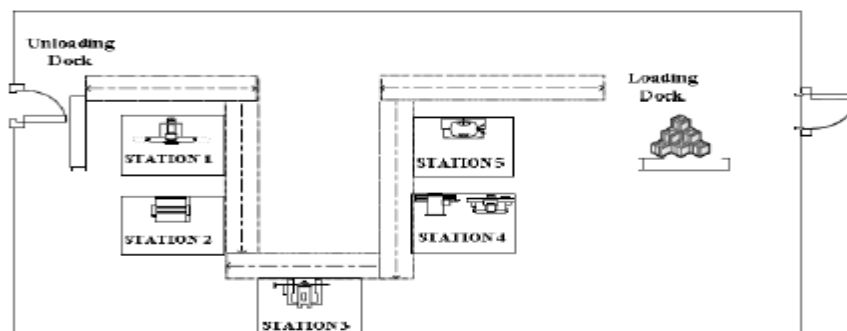
Produk	Observasi (n)	Mean	Standart Deviasi	t-statistik
HE	25	0.16	0.16	1.5
SE	25	0.4	1.59	1.25
OE	25	0.16	0.6	1.33
WE	25	0.12	0.74	0.88

3.4 Analisis model simulasi sistem perakitan dan menyajikan solusi yang disarankan

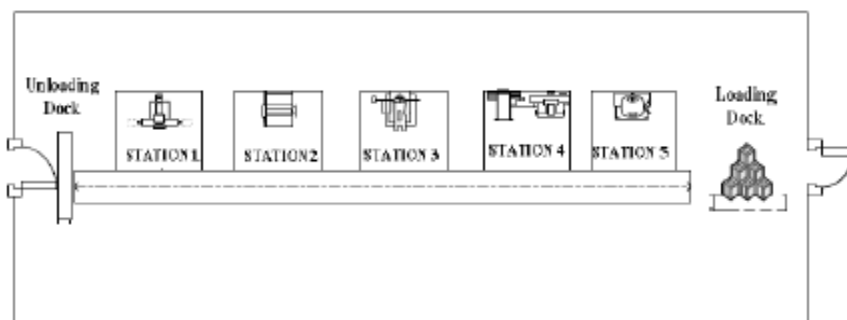
Dengan menerapkan model simulasi, keadaan sistem saat ini seperti koefisien produktivitas stasiun (PCP), jumlah produksi rata-rata (APN), rata-rata waktu perakitan produk (AATS), waktu tunggu rata-rata di stasiun (AWTP), waktu penanganan rata-rata (AHT) dan rata-rata produk kerja-dalam-proses (AWIP) diperoleh menurut Tabel 6. Seperti yang ditunjukkan, koefisien produktivitas stasiun 2 dan 3 (PCP2 dan PCP3) adalah 48,42% dan 41,85% yang berarti bahwa stasiun-stasiun ini hanya menggunakan setengah dari potensinya. Selain itu, AWTS di stasiun 1, 4 dan 5 masing-masing adalah 12,19 menit ; 4,74 menit dan 10,57 menit, yang sangat tinggi dan bisa menjadi hasil dari masalah seperti operator menganggur dan / atau peralatan penanganan. Selanjutnya, waktu siklus dan jumlah produk dalam sistem tidak diinginkan. Bahkan sebelum menjalankan model, salah satu pertimbangan paling penting dari manajemen adalah waktu siklus yang panjang, yang menyebabkan keterlambatan pengiriman produk dan oleh karena itu ketidakpuasan pelanggan. Jadi untuk mengatasi masalah ini dan untuk meningkatkan kepuasan pelanggan, dan juga mempertimbangkan efisiensi biaya, maka usulan atau saran yang mungkin untuk meningkatkan atau meningkatkan mesin dan peralatan adalah sebagai berikut :

- 1 Perubahan aliran produk, atau dengan kata lain perubahan pengaturan stasiun, yang menyebabkan perubahan dalam sistem penanganan material. Karena pembatasan tersebut di atas dua opsi tersedia. Salah satunya adalah bentuk-U dan yang lainnya adalah garis lurus (Gambar 3 dan 4). Pengaturan ini digunakan untuk mengurangi jarak antara stasiun dan oleh karena itu waktu penanganan, tetapi menjalankan model untuk keduanya menunjukkan bahwa, opsi bentuk-U sangat mengurangi waktu penanganan lebih berhasil daripada aliran lurus, membawa AHT turun dari 18,66 menjadi 9,85.
- 2 Memperpanjang jam kerja dalam shift bisa menjadi solusi efektif untuk mengurangi jumlah produk di sistem pada akhir *shift*. Jadi, dengan bergeser menjadi 10 jam, bukan 8 jam, peningkatan terjadi dalam jumlah produksi per hari dan produk-produk dalam proses kerja berkurang.
- 3 Meningkatkan jumlah *forklift* dapat meningkatkan produktivitas stasiun dan meningkatkan sistem penanganan yang menghasilkan waktu tunggu yang lebih rendah untuk produk.
- 4 Mempekerjakan lebih banyak operator di stasiun juga akan mengurangi waktu tunggu produk. Seperti yang dapat dilihat pada Tabel 6 waktu menunggu dalam antrian untuk stasiun P1 dan P5 (AWTP1 dan AWTP5) adalah 12,19 menit dan 10,57 menit yang merupakan waktu yang signifikan. Mempekerjakan lebih banyak operator di stasiun dapat membantu dengan kemacetan ini.

Mempertimbangkan empat parameter ini maka telah diusulkan 4 solusi (kombinasi dari empat ini), terlihat pada Tabel 5.



Gambar 3. Aliran pola berbentuk U dari jalur perakitan



Gambar 4. Aliran garis lurus dari jalur perakitan

Tabel 5. Parameter dari empat solusi perbaikan yang berbeda

Item	Solusi 1	Solusi 2	Solusi 3	Solusi 4
Bentuk Aliran Pola	-	-	Bentuk U	Bentuk U
Lama Bekerja	8	10	8	10
Jumlah Forklip Manual	4	3	2	2
Jumlah Forklip Elektrik	5	6	5	4
Jumlah Pekerja P1	2	2	2	2
Jumlah Pekerja P5	1	2	2	1

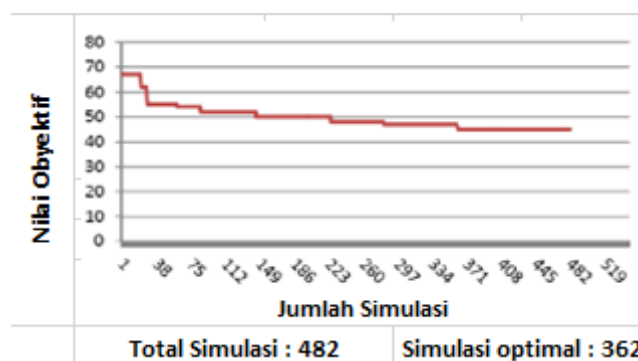
Tabel 6. Evaluasi hasil kriteria kinerja untuk solusi

Creteria	Waktu Tunggu	Solusi 1	Solusi 2	Solusi 3	Solusi 4
PCP1	80,45	69,5	65,5	71,5	70
PCP2	48,42	68	67,7	61,3	60,4
PCP3	41,85	54,5	58,8	59	60,5
PCP4	78,84	84,3	80,8	80,6	89,8
PCP5	74,76	87	57,5	75,7	90,3
AHT	18,66	12	12,8	10,1	11,51
AWTP1	12,19	1,6	2	2,5	2,25
AWTP2	2,34	4	4,3	3	3,21
AWTP3	1,925	3,3	3,5	3,5	4,24
AWTP4	4,74	6,8	3,75	3,75	5,50
AWTP5	10,57	12,6	3,4	3,4	11,2

Tabel 7. Evaluasi hasil kriteria kinerja untuk solusi rata-rata

Creteria	Waktu Tunggu	Solusi 1	Solusi 2	Solusi 3	Solusi 4
AATS1	96,50	89,6	84	80	90
AATS2	79,13	78,7	77	67,6	79,5
AATS3	81,83	80	75,8	71,7	75,3
AATS4	58,69	62,6	50	45	53,5
AATS5	79,03	77,72	71,7	66	74,5
APN	32	32	49	39	49
AWIP	10	5	7	3	4

Mempertimbangkan kriteria kinerja ini, analisis *output* AATS dan AWIP adalah solusi ketiga (solusi 3) menunjukkan pengurangan AATS dan AWIP tertinggi. Dengan kata lain, mengubah tata letak perakitan menjadi bentuk berbentuk U, menambahkan 3 *forklift* elektrik dan menggunakan 2 operator di stasiun 1 dan 5, waktu perakitan produk HE, SE, OE dan WE menunjukkan 15%, 12%, 11% dan 19% pengurangan, juga pengurangan 74% dalam produk dalam proses kerja dan peningkatan 6% dalam produksi yang diamati.



Gambar 7. Optimasi waktu siklus kerja dengan evaluasi solusi yang tak terhitung jumlahnya

4. Simpulan

Berdasarkan hasil pengolahan data dari penelitian pada PT. ABC Surakarta dapat diambil kesimpulan bahwa dengan menggunakan software Arena dihasilkan model simulasi proses produksi yang dapat mengevaluasi skenario yang diusulkan bagi para pengambil keputusan yang terus-menerus mengejar perbaikan sistem. Dalam studi kasus ini, penerapan solusi yang diusulkan menunjukkan bahwa AATS untuk produk HE, SE, OE dan WE menyusut sebesar 15%, 12%, 11% dan 19% dan produk-produk dalam proses kerja (AWIP) berkurang sebesar 74%. Selain itu, produksi (APN) juga meningkat sebesar 6%. Perlu dicatat bahwa simulasi bukanlah proses optimasi, tetapi hanya memberi kita respon sistem terhadap berbagai kondisi operasi. Untuk mengoptimalkan sistem dalam penelitian ini, digunakan untuk mengevaluasi berbagai solusi, dan mengambil nilai minimum merupakan pilihan yang terbaik. Hasilnya adalah 26% pengurangan AATS. Untuk penelitian masa depan, disarankan bahwa hasil yang diperoleh dalam penelitian ini, dengan menggunakan simulasi, dibandingkan dengan algoritma genetika dan jaringan saraf. Selain itu untuk memperluas pendekatan dapat juga untuk memecahkan kriteria kinerja lainnya atau bahkan masalah *multi-stage* adalah hal yang menarik. Lebih jauh lagi, menggunakan pendekatan ini dalam kasus lain dari lingkungan mesin yang lebih kompleks, misalnya, mesin paralel yang tidak identik, masalah *flow shop* dan masalah *job shop*.

Daftar Pustaka

- Arifin, Miftahol. (2008). *Simulasi Sistem Industri*. Yogyakarta : Graha Ilmu.
- Anderson, E.J. and Ferris, M.C. (1994). Genetic algorithms for combinatorial optimization the assembly line balancing problem. *ORSA Journal on Computing*. Vol. 6. No. 2. pp.161–173.
- Carrie, Allan. (1992). *Simulation of Manufacturing Systems*, John Wiley and Sons.
- Banks, J., J. S. Carson, and B.L. Nelson (1996). *Discrete-Event System Simulation*, New Jersey : Prentice Hall.
- Fauzy, Akhmad. (2008). *Statistik Industri*. Penerbit Erlangga. Yogyakarta.
- Gunawan, M. Haryanto (2002). *Optimasi Sistem Produksi pada Perusahaan Timbangan Pertim Malang dengan Metode Simulasi*. Program Studi Teknik Industri, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- Kelton, W. David, et all (1998) *Simulation With Arena*, Mc Graw Hill Book Co., Singapore
- Law, Averil MM. (2007). *Simulation Modelling and Analysis*. McGraw Hill International Editions. New York
- Limbong, Maraden, 2010, Analisis Sistem Antrian Di Departemen *Washing* Pada PT. Mark Dynamics Indonesia Dengan Menggunakan Teknik Simulasi Promodel, Medan, Universitas Sumatera Utara.
- Siagian, D., Sugiarto, 2002, Metode Statistika, Jakarta : PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Simatupang, Togar M. 1995, Pemodelan Sistem, Klaten, Penerbit Nindita.
- Turner, W.C., Mize, J.H., Case, K.E., Nazemetz, J.W., 1993, Pengantar Teknik dan Sistem Industri, Surabaya, Penerbit Guna Widya.
- Walpole, Ronald E., Myers, Raymond H., 1986, Ilmu Peluang dan Statistika Untuk Insinyur dan Ilmuwan, Bandung, Penerbit ITB.
- Grover, M.P. ,2001, *Automation, Production System and Computer Integrated Manufacturing*, 3rd ed., Prentice Hall, Englewood, NJ, USA.
- Monden, Y. ,1993, *Toyota Production System an Integrated Approach to Just in Time*, 2nd ed., Institute of Industrial Engineers, Georgia.