

# Analisis Kegagalan Proses Produksi Bengkirai *Decking* dengan Metode FMECA (*Failure Modes, Effects and Critically Analysis*)

Arfan Bakhtiar<sup>1)</sup>, Rushita Dian Pratiwi<sup>2)</sup>, Aries Susanty<sup>3)</sup>

<sup>1,2,3)</sup>Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. H. Soedarto, SH, Tembalang, Semarang, 50239, Telp. (024) 7460052

Email: arfanbakhtiar@yahoo.com; rusitadian17@gmail.com; ariessusanty@gmail.com

## ABSTRAK

PT. KJG memiliki produk utama yaitu Bengkirai decking. Berdasarkan data cacat, tingkat defect Bengkirai *Decking* berkisar 2-3,5 % yang masih melebihi batas cacat yang ditentukan perusahaan yaitu 2%. Untuk mengurangi kegagalan produk tersebut, maka perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui kegagalan-kegagalan yang terjadi pada proses produksi. Penelitian ini menggunakan metode FMECA (*Failure Modes, Effect and Critically Analysis*), untuk menganalisa fungsi komponen, jenis dan penyebab kegagalan dan efek yang timbul dari kegagalan tersebut, serta menentukan titik kritis dari sebuah mode kegagalan. Setelah dilakukan analisis dengan perhitungan RPN, diagram pareto dan matriks kritikalitas didapatkan 10 prioritas mode kegagalan yaitu *As* roda patah, mata gergaji tumpul, *bearing* pecah, *van belt* putus, pisau tumpul, pisau terbakar, kipas fan bengkok, *van belt* kendur, gergaji tumpul, dan pisau *profile* tumpul. Analisis penyebab kegagalan tersebut dilakukan dengan menggunakan 5W-1H, rekomendasi yang dapat diberikan diantaranya: melakukan pemeliharaan lingkungan dan tempat kerja, melakukan instruksi kerja, dan membuat jadwal perawatan mesin.

**Kata kunci:** bengkirai *decking*, *critically matrix*, diagram pareto, FMECA.

## 1. Pendahuluan

Produk berkualitas menjadi syarat agar produsen dapat bersaing di pasar, hal ini akan membuat produsen terus melakukan inovasi produk maupun perbaikan kegiatan proses produksinya untuk meningkatkan kualitas produk. PT. KJG merupakan suatu perusahaan *Furniture Manufacture* dengan spesialisasi memproduksi kayu olahan yang terdiri dari bengkirai *decking* anti slip, bangkirai *beams*, bangkirai poles dan *assembling product* seperti *garden fancing*, *garden tiles* dan *flower plot*. Berdasarkan data historis perusahaan, bahwa jumlah produk kayu Bengkirai *decking* yang cacat pada bulan Januari 2014 - Juli 2014 yaitu 2-3,5 % sehingga masih melebihi batas cacat yang ditentukan perusahaan yaitu 2%. Jika ada produk cacat yang sampai pengepakan, maka produk akan ditolak oleh *buyer* luar negeri sehingga akan mengakibatkan kerugian yang cukup besar bagi perusahaan. Oleh karena itu, jenis kegagalan yang dapat timbul selama proses pengolahan kayu perlu di minimalisir.

Untuk mengidentifikasi faktor penyebab kegagalan yang timbul, identifikasi kegagalan, serta penilaian dan pengendalian resiko kegagalan dapat digunakan beberapa metode diantaranya FMEA, FTA, dan FMECA dan *Event Tree Analysis*. FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*) adalah suatu pendekatan kualitatif yang mampu mengidentifikasi potensi kegagalan suatu peralatan, fasilitas, atau sistem. FMECA (*Failure Mode Effects and Criticality Analysis*) adalah perpanjangan dari FMEA yang analisisnya dilakukan secara kuantitatif. FMEA dan FMECA ini memiliki keterbatasan untuk pemeriksaan pada pengaruh eksternal kegagalan (ABS, 2001). Metode lain yang dapat digunakan adalah ETA. ETA dianggap hanya memperhatikan kesalahan manusia, penentuan resiko dan kemampuan berdasarkan perilaku (Targoutzidis, 2009). ETA juga hanya terbatas pada satu kejadian (ABS, 2001). Metode selanjutnya yaitu FTA (*Fault Tree Analysis*). Kelebihan dari FTA ini bersifat sistematis menjelaskan semua penyebab kejadian yang tidak diinginkan langsung mengarah ke modus

kegagalan. Kelemahan dari metode ini adalah terlalu subjektivitas (Geum dkk, 2009). Fokus pada FTA sangat sempit, dalam perhitungan juga membutuhkan keahlian sangat signifikan (ABS, 2001)

Pada penelitian ini digunakan metode FMECA (*Failure Modes, Effects, and Critically Analysis*). Salah satu metode yang paling kuat yang tersedia untuk mengukur keandalan produk atau proses adalah FMEA. Mungkin kritik terbesar dari FMEA yaitu penggunaannya yang terbatas dalam meningkatkan desain. Pelanggan akan melakukan peningkatan permintaan pada perusahaan untuk produk yang berkualitas tinggi dan dapat diandalkan. FMEA menyediakan alat yang mudah untuk menentukan risiko yang memiliki keprihatinan terbesar karena perlu adanya tindakan untuk mencegah masalah sebelum muncul. Pengembangan metode ini akan memastikan produk akan memenuhi persyaratan yang ditetapkan (Ambekar dkk., 2013). FMECA adalah metodologi yang dirancang untuk mengidentifikasi mode kegagalan potensial untuk produk atau proses, dengan tujuan menilai risiko yang terkait dengan orang-orang mode kegagalan, dan memberikan peringkat masalah yang penting serta mengidentifikasi dan melakukan tindakan korektif untuk mengatasi masalah yang paling serius. FMECA menempati posisi penting dalam optimalisasi fungsi pemeliharaan. Bahkan membuat sistem yang dapat diandalkan sekaligus mengurangi jumlah kegagalan, dan membuatnya mudah dipelihara karena memungkinkan untuk mengontrol komponen dan fungsi mereka. Hal ini dapat diterapkan pada unsur-unsur penting, untuk mendominasi kegagalan, terutama yang memiliki tingkat kritis tertinggi. FMECA adalah alat yang telah diadaptasi dalam berbagai cara untuk berbagai keperluan. Hal ini dapat berkontribusi untuk meningkatkan desain produk dan proses, sehingga keandalan yang lebih tinggi, kualitas yang lebih baik, peningkatan keamanan, kepuasan pelanggan ditingkatkan dan mengurangi biaya. FMEA terdiri dari dua analisis terpisah, Mode Kegagalan dan Efek Analysis (FMEA) dan Analisis Kekritisan (CA). Tipikal FMEA yaitu menggabungkan beberapa metode untuk mengevaluasi risiko yang terkait dengan potensi masalah yang diidentifikasi melalui analisis. Metode yang paling umum digunakan yaitu evaluasi risiko *Risk Priority Number*. Untuk menggunakan metode *Risk Priority Number* (RPN), tim analisis harus menilai keparahan masing-masing efek kegagalan, menilai kemungkinan terjadinya untuk setiap penyebab kegagalan, menilai kemungkinan deteksi sebelumnya untuk masing-masing penyebab kegagalan (kemungkinan mendeteksi masalah sebelum mencapai pengguna akhir atau pelanggan), menghitung RPN yaitu dengan mengalikan nilai *severity*, *occurrence*, dan *detection* (Sahoo dkk., 2014). Penggunaan metode FMECA diharapkan dapat memenuhi tujuan dari penelitian ini yaitu: mengidentifikasi mode kegagalan mesin pengolahan kayu bengkirai *decking* PT. KJG dan penyebab kegagalannya, menentukan nilai *critical number/RPN* untuk memprioritaskan mode kegagalan yang ada pada proses pengolahan bengkirai *decking*, dan memberikan masukan tindakan yang harus dilakukan dari setiap mode kegagalan pada proses produksi pengolahan bengkirai *decking* PT. KJG.

## 2. Metode

Keterbatasan data yang tersedia di PT. KJG telah mendorong penelitian dilakukan dengan cara semi-kuantitatif. Analisis Mode Kegagalan, Efek dan Analisis Kekritisan (FMECA) adalah pendekatan kualitatif untuk penelitian keselamatan dalam berbagai bidang. Memang teknik ini memberikan pengetahuan yang mendalam tentang fungsi dan interaksi dari suatu sistem, dengan analisis sistematis hubungan sebab-akibat. Informasi yang diperoleh digunakan sebagai bagian dari manajemen risiko, dengan memperhatikan: tingkat keandalan sistem operasional yang baik, Hal ini memungkinkan untuk mengetahui elemen yang paling penting (Fungsi dan komponen mesin yang digunakan PT. KJG), mencari dan mengevaluasi dan peringkat kelemahan, kesalahan dan malfungsi sistem, mengelola titik-titik kritis dan memberikan tindakan rekomendasi. Kelebihan Metode Semikuantitatif menurut Cross (1998) yaitu lebih akurat

daripada analisis kualitatif, kemudian lebih mudah dan cepat daripada analisis kuantitatif, sedangkan kekurangannya adalah kurang akurat daripada analisis kuantitatif, dan skala yang digunakan harus tepat untuk menentukan tingkat resiko. Analisis semikuantitatif dilakukan dengan melakukan observasi, dan wawancara dengan mekanik dan operator PT. KJG. Penelitian ini dilaksanakan selama 2 bulan, bertempat di industri kayu yang berlokasi di Semarang, Jawa Tengah. Metode pengumpulan yang dilakukan adalah observasi dan wawancara.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Pada bagian ini akan membahas tentang pengumpulan dan pengolahan data, yang kemudian dilanjutkan dengan pembahasan dan analisis.

#### Analisis mode kegagalan dan perhitungan RPN

Evaluasi terhadap titik kegagalan (*failure mode*) dapat dilakukan dengan menggunakan dua pendekatan yang berbeda yaitu *Criticality Number* (CN) atau mengembangkan *Risk Priority Number* (RPN) (Bertolini *dkk.* 2006). Perhitungan nilai RPN dapat dilakukan dengan menghitung nilai *severity*, *occurrence*, dan *detection* yang telah diidentifikasi dari hasil observasi dan wawancara dengan mekanik dan operator.

$$RPN = S * O * D \quad (1)$$

Perhitungan nilai RPN ditunjukkan pada Tabel 1. Pada tabel tersebut terlihat bahwa terdapat beberapa mode kegagalan di setiap mesin. Terdapat nilai RPN yang sama pada beberapa mode kegagalan sehingga harus dilakukan analisis lebih lanjut.

Tabel 1. Nilai *Risk Priority Number* (RPN) dari setiap Mode Kegagalan

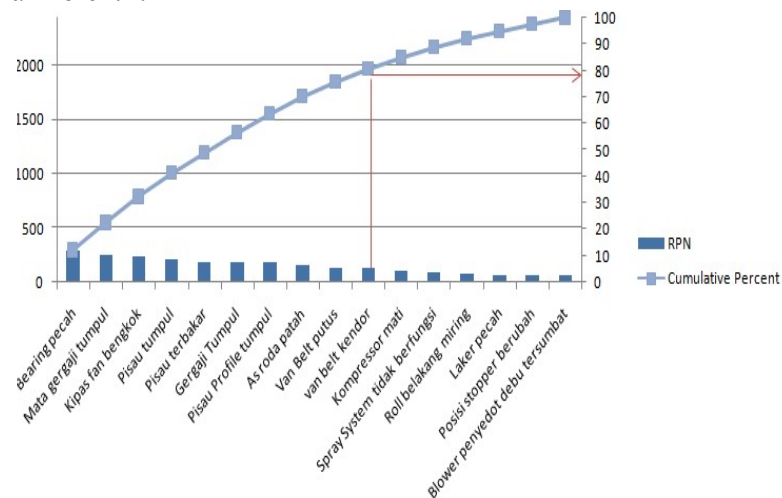
Nama Alat/Proses	No. Identifikasi	Mode Kegagalan	RPN
<i>Saw Mill</i> / Proses pemotongan kayu log	1.1	As roda patah	160
	1.2	Mata gergaji tumpul	252
	1.3	Laker pecah	70
	1.4	<i>Bearing</i> pecah	294
Splitting / pemotongan kayu menjadi 4 bagian	2.1	Roll belakang miring	80
	2.2	Pisau tumpul	216
	2.3	Pisau terbakar	192
	2.4	Van Belt putus	126
<i>Cross cut</i>	3.1	Gergaji Tumpul	180
	3.2	Posisi stopper berubah	64
Moulding / pembentukan profile kayu	4.1	Blower penyedot debu tersumbat	60
	4.2	Pisau <i>Profile</i> tumpul	180
	4.3	Kompresor mati	105
	4.4	<i>van belt</i> kendur	126
Pengeringan Kayu	5.1	Spray System tidak berfungsi	90
	5.2	Kipas fan bengkok	240

#### Diagram pareto

Diagram Pareto digunakan untuk membandingkan beberapa kategori kejadian yang disusun menurut ukurannya, dari yang paling besar di sebelah kiri ke yang paling kecil di sebelah kanan. Susunan tersebut membantu menentukan prioritas kejadian yang dikaji untuk mengetahui masalah utama proses pengolahan bengkirai *decking*. Dari 16 mode kegagalan yang dapat dilihat pada Tabel 1 ditentukan prioritas utama dengan menggunakan diagram pareto seperti terlihat pada Gambar 1

#### Matriks kritikalitas

Matriks kritikalitas digunakan untuk memprioritaskan mode kegagalan berdasarkan dengan keparahan dan tingkat kejadiannya. Setelah menggunakan diagram pareto diatas, didapatkan 10 prioritas utama mode kegagalan yang harus segera di perbaiki dari 10 mode kegagalan yang ada. Kemudian dilakukan penilaian kembali dengan memperhatikan nilai *severity* dan *occurrence*. Jika terdapat dua komponen yang memiliki nilai RPN yang sama, sebagai contoh pada mode kegagalan (2.4) fan belt kendor dengan (4.4) fan belt putus. Kedua mode kegagalan tersebut memiliki nilai *detection* sama yaitu 3. Tetapi salah satunya memiliki nilai *severity* 6 dan *occurrence* 7 sedangkan yang fan belt putus memiliki *severity* 7 dan *occurrence* 6 , keduanya menghasilkan nilai RPN yang sama yaitu 126. Maka dengan menempatkannya pada matriks, akan sangat jelas jika komponen yang ada di kategori keparahan “7” menjadi prioritas untuk beberapa tindakan korektif.

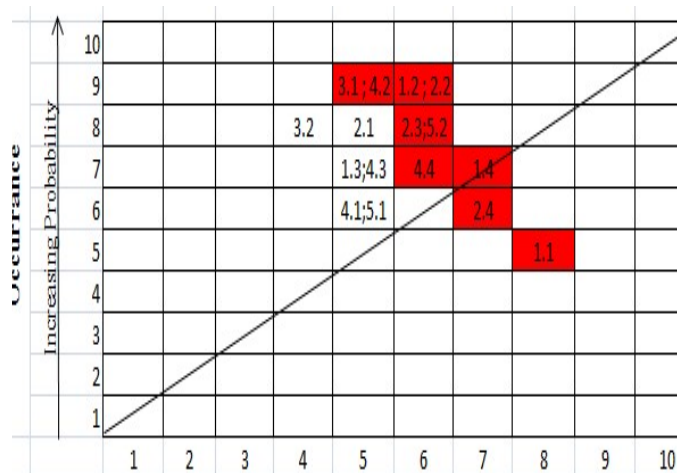


Gambar 1. Diagram Pareto Mode Kegagalan

Sehingga diperoleh prioritas mode kegagalan pada Tabel 2 berikut ini:

Tabel 2. Prioritas Mode Kegagalan dari Diagram Pareto

No. Identifikasi	Mode Kegagalan
1.4	Bearing pecah
5.2	Kipas fan bengkok
1.2	Mata gergaji tumpul
2.2	Pisau tumpul
1.1	As roda patah
2.3	Pisau terbakar
3.1	Gergaji Tumpul
4.2	Pisau Profile tumpul
2.4	Fan Belt putus
4.4	Fan belt kendor



Gambar 2. Matriks Kritikalitas Mode Kegagalan

Dari Gambar 2 diatas dapat diketahui prioritas kegagalan yang perlu segera diberi tindakan berdasarkan keparahannya yaitu sebagai berikut:

Tabel 3. Prioritas Mode Kegagalan dari Matriks Kritikalitas

Prioritas	No. Identifikasi	Mode Kegagalan	RPN
1	1.1	As rodapatah	160
2	1.2	Mata GergajiTumpul	252
3	1.4	Bearing Pecah	294
4	2.4	Fan Belt Putus	126
5	2.2	PisauTumpul	216
6	2.3	PisauTerbakar	192
7	5.2	Kipas Fan Bengkok	240
8	4.4	Fan belt kendor	126
9	3.1	GergajiTumpul	180
10	4.2	Pisau <i>Profile</i> Tumpul	180

### Pembahasan

Pada pengolahan data yang sudah dijelaskan di atas yang pertama dilakukan adalah pengumpulan data dengan observasi dan wawancara untuk mengetahui mode kegagalan yang terjadi di lantai produksi PT. KJG, kemudian dilakukan perhitungan nilai RPN. Nilai RPN didapatkan setelah menentukan rating *severity*, *occurrence*, dan *detection*. Penentuan rating kriteria *severity* disesuaikan dengan data yang tersedia di perusahaan yaitu dengan melihat lama *downtime* yang ditimbulkan dari suatu mode kegagalan. Pada rating nilai *occurrence* juga disesuaikan dengan data yang tersedia yaitu dengan mengklasifikasikan berdasarkan tingkat kejadian suatu kegagalan, sedangkan untuk *detection* berdasarkan kemampuan operator atau mekanik dalam mendeteksi suatu kegagalan.

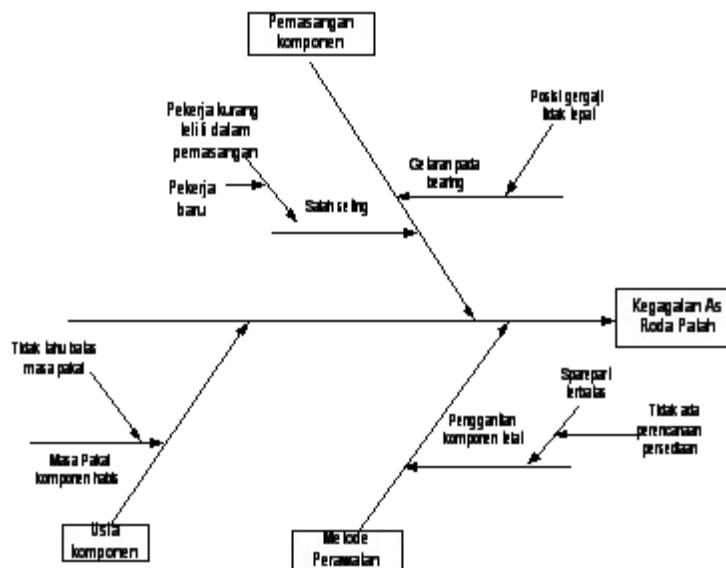
Setelah didapatkan nilai RPN, selanjutnya dilakukan pemprioritasan dengan diagram pareto. Menurut buku *Basic Improvement tools* (.....,1989) alasan mengapa harus digunakan Diagram pareto yaitu karena grafik ini dapat memecahkan masalah yang besar menjadi potongan-potongan yang lebih kecil dan mengidentifikasi masalah yang memiliki kontributor terbesar. Hal ini dapat membantu mendapatkan hasil maksimal perbaikan dengan sumber daya yang tersedia dengan menunjukkan dimana untuk memfokuskan upaya untuk memaksimalkan perbaikan. Prinsip Pareto menyatakan bahwa sejumlah kecil penyebab menyumbang sebagian besar masalah yang terjadi. Memfokuskan upaya pada “masalah yang yang kritis”. Setelah dilakukan pemprioritasan didapatkan 10 mode kegagalan yang utama yaitu bearing pecah, mata gergaji tumpul, pisau tumpul, as roda patah, pisau terbakar, gergaji tumpul, pisau *profile* tumpul, *fan belt* putus, dan *fan belt* kendor. Setelah didapatkan 10 mode kegagalan dilakukan

pemprioritasan kembali dengan menggunakan matriks kritikalitas. Pada buku Department of The Army “*Failures Modes, Effects and Critically Analysis (FMECA) For Command,Control, Communications, Computer, Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance (C4ISR) Facilities*” tahun 2006 dijelaskan bahwa Matriks kritikalitas perlu digunakan jika terdapat nilai RPN yang sama dan perlu diprioritaskan dengan mempertimbangkan nilai *severity* dan *occurencnya*.

Dengan memperhatikan prioritas dari diagram pareto dengan matriks kritikalitas sehingga diperoleh urutan prioritas yaitu mulai dari as roda patah, mata gergaji tumpul, *bearing* pecah, *fan belt* putus, pisau tumpul, pisau terbakar, kipas *fan* bengkok, *fan belt* kendor, gergaji tumpul, dan pisau *profile* tumpul. Langkah berikutnya yaitu menganalisis penyebab yang timbul dari mode kegagalan tersebut dengan menggunakan *cause and effect diagram* dan *5 why's diagram*.

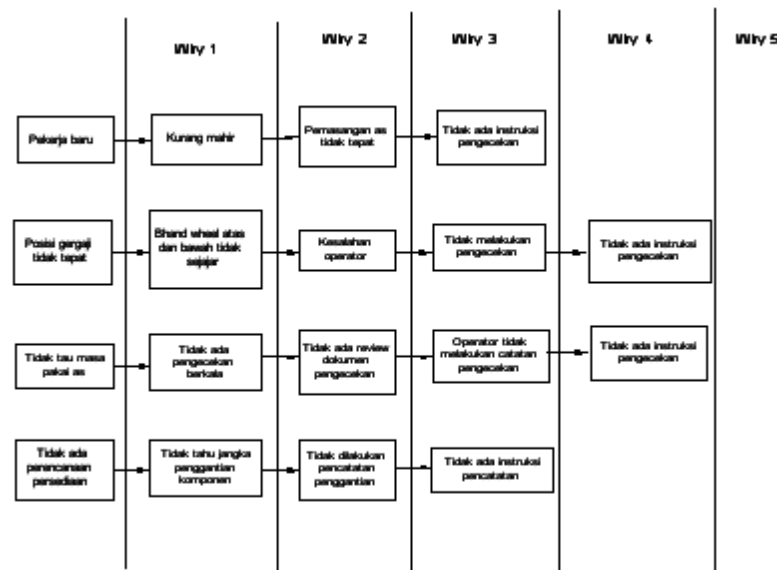
**Cause and Effect diagram**

Langkah pertama yang dilakukan untuk membuat diagram *fishbone* atau *cause effect diagram* dalam menentukan masalah utama, kemudian mengidentifikasi faktor-faktor utama yang berpengaruh, Berdasarkan prioritas pada Matriks Kritikalitas terdapat tiga mode Kegagalan pada Mesin Saw Mill, salah satunya As Roda Patah. Berikut ini merupakan diagram *fishbone* dan 5 why's untuk mencari akar permasalahan dari mode kegagalan As Roda Patah:



Gambar 3. Diagram *Fishbone* Mode Kegagalan As Roda Patah

Pendalaman lebih lanjut dari penyebab masalah ini dapat dilakukan sampai dengan lima level. Dapat digunakan metode *five why's* untuk pendalaman penyebab masalah ini.



Gambar 4. Diagram 5 Why's Mode Kegagalan As Roda Patah

### Rekomendasi

Berdasarkan mode kegagalan yang sudah diprioritaskan berdasarkan pareto dan matriks kritikalitas, didapatkan sepuluh mode kegagalan utama. Langkah rekomendasi dilakukan dengan menggunakan 5W-1H yang bertujuan menetapkan rencana-rencana tindakan untuk peningkatan kualitas berdasar (WHY-alasan, WHERE- lokasi, WHEN-kapan, WHO-orang, HOW-bagaimana). Dari diagram 5 why's (Gambar 4) diperoleh bahwa penyebab kegagalan As Roda patah yaitu diantaranya: Tidak ada instruksi pengecekan dan Tidak ada instruksi pencatatan penggantian komponen. Berikut salah satu contoh rekomendasi perbaikan untuk mode kegagalan As Roda Patah:

Tabel 4. Rekomendasi 5W-1H Tidak ada Instruksi Pengecekan (As Roda Patah)

Tidak Ada Instruksi Pengecekan	
5W-1H	Jawaban
Apa yang harus dilakukan?	Membuat Instruksi Kerja
Mengapa harus dibuat Instruksi Kerja?	Untuk mencegah komponen mengalami kegagalan saat proses pengolahan berlangsung
Dimana diperlukan Instruksi Kerja?	Pada proses Produksi bengkirai <i>decking</i>
Siapa yang membuat Instruksi kerja?	Kepala Produksi PT. KJG
Kapan Instruksi kerja dapat dilakukan?	Sebelum Proses Pengolahan Bengkirai <i>deckig</i> dimulai
Bagaimana membuat instruksi kerja untuk mencegah as roda patah?	Instruksi kerja yang pertama yaitu : 1. Bersihkan bagian mesin sebelum digunakan, lakukan pelumasan pada <i>bearing</i> , agar memperkecil gesekan pada as roda. 2. Lakukan inspeksi pada bagian log kayu yang akan diolah. 3. Pastikan posisi paku "s" agar terhindar dari gergaji belah. 4. Pastikan posisi gergaji belah sudah tepat.

Tabel 5. Rekomendasi 5W-1H Tidak ada Pencatatan Penggantian Komponen (As Roda Patah)

<b>Tidak Ada Pencatatan PenggantianKomponen</b>	
<b>5W-1H</b>	<b>Jawaban</b>
Apa yang harus dilakukan?	Melakukan pencatatan untuk setiap kali penggantian komponen
Mengapa harus melakukan pencatatan?	Untuk menghindari keterlambatan proses produksi
Dimana diperlukan pencatatan penggantian komponen?	Pada proses Produksi bengkirai <i>decking</i>
Siapa yang membuat pencatatan penggantian komponen?	Kepala Produksi PT. KJG
Kapan pencatatan penggantian komponen dapat dilakukan?	Setiap dilakukan penggantian komponen
Bagaimana membuat pencatatan penggantian agar as roda dapat diganti tanpa tertunda?	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Lakukan pencatatan setiap terjadi kegagalan pada as roda.</li> <li>2. Pencatatan terdiri dari nama komponen dan mesin, mode kegagalan, dan tanggal penggantian.</li> <li>3. Hitung jangka waktu kerusakan as roda.</li> <li>4. Lakukan jadwal penggantian as roda, sehingga pemesanan <i>sparepart</i> dapat dilakukan sebelum kegagalan terjadi. Dengan begitu mesin tidak berhenti terlalu lama.</li> </ol>

#### 4. Simpulan

Kesimpulan yang bisa ditarik dari penelitian ini adalah ada 10 mode kegagalan yang diprioritaskan yaitu as roda patah, mata gergaji tumpul, *bearing* pecah, *fan belt* putus, pisau tumpul, pisau terbakar, kipas *fan* bengkok, *fan belt* kendur, gergaji tumpul, dan pisau *profile* tumpul. Faktor-faktor penyebab utama terjadinya kegagalan pada proses pengolahan bengkirai *decking* adalah tidak adanya instruksi pengecekan, tidak adanya pencatatan penggantian komponen, kondisi ruangan yang berdebu dan panas, tidak adanya perencanaan persediaan dan tidak ada jadwal perawatan mesin. Penerapan metode FMECA dapat dilakukan sebagai upaya untuk mencegah resiko kegagalan yang dapat terjadi dan sebagai tahap awal untuk melakukan perencanaan berikutnya terkait dengan perawatan mesin, sehingga setelah dilakukan FMECA dapat dilakukan penjadwalan untuk perawatan komponen-komponen kritis tersebut.

#### Daftar Pustaka

- ABS Consulting. 2001. Principles of Risk Based Decision Making. United States. Beck, N. 2006. *Proposed Risk Assessment Bulletin. Office of Management and Budget.*
- Ambekar, S. B., Ajinkya E., dan Vivek S. 2013. *A Review: Implementation of Failure Mode and Effect Analysis.* International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT) Volume 2, Issue 8.
- Basic Improvement Tools. Madison, WI: Joiner Associates. Instructor Guide: pages 13
- Bertolini, M, Maurizio B., and Roberto M., 2006. *FMECA approach to product traceability in the food industry,* Journal of Food Control (17):137-145
- Cross, Jean. 1998. *Study Notes: Risk Management.* University of New South Wales: Sydney.
- Department of The Army, 2006, *Failures Modes, Effects and Critically Analysis (FMECA) For Command, Control, Communications, Computer, Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance (C4ISR) Facilities*
- Geum, Y., H. Seol, S. Lee, Y. Park. Application of Fault Tree Analysis to the Service Process: Service Tree Analysis Approach. *Journal of Service Management,* Vol. 20 No.4, 2009 pp.433-454.



- Sahoo, T., dan P. K. Sarkar. 2014. Maintenance Optimization for Critical Equipment in process industries based on FMECA Method. *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)*. ISO 9001:2008
- Targoutzidis. A. 2009. Incorporating Human Factors Into A Simplified “Bow-Tie” Approach for Workplace Risk Assessment. *Safety Sci.*48(145-156)