

Penjadwalan Perawatan Root Train Pack dengan Menggunakan Metode MTBF dan FMEA

Vera Devani¹, Andrian Saputra²

^{1,2} Jurusan Teknik Industri, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sultan Syarif Kasim Riau
Jl. HR. Soebrantas No. 155 Simpang Baru, Panam, Pekanbaru, 28293
Email: ¹veradevani@gmail.com, ²saputrandrian123@gmail.com

Abstrak

PT. IU adalah sebuah perusahaan swasta yang menyediakan jasa perawatan root train pack. Penelitian ini dilakukan untuk menentukan waktu rata-rata perawatan root train pack dengan menggunakan metode MTBF (Mean Time Between Failure), mengidentifikasi dan menganalisa penyebab serta meminimalkan risiko terjadinya kegagalan dengan menggunakan metode FMEA (Failure Mode Effect Analysis). Hasil penelitian diperoleh waktu rata-rata perawatan root train pack dalam 1 tahun dibutuhkan waktu selama 73,186 jam. Berdasarkan Pareto Diagram terdapat 5 jenis kegagalan yang memiliki frekuensi tertinggi, yaitu: oli filter, oli engine, pecah ban, oli transmisi, dan filter solar. Dari kelima kegagalan tersebut yang memiliki nilai RPN (Risk Priority Number) yang tinggi yaitu ban pecah, penyebab dominan adalah pada kondisi jalan yang tidak baik dengan nilai RPN sebesar 125. Oli filter, penyebab dominan adalah pada waktu pergantian yang tidak terjadwal dengan RPN sebesar 75. Oli engine, penyebab dominan adalah pada waktu pergantian yang tidak terjadwal dengan RPN sebesar 75. Filter solar, penyebab dominan adalah pada waktu pergantian yang tidak terjadwal dengan RPN sebesar 48. Sedangkan oli transmisi, mempunyai nilai RPN yang masih rendah yaitu 27. Berdasarkan nilai RPN tersebut perlu tindakan perbaikan untuk mengurangi tingkat kegagalan.

Kata kunci: FMEA, Material Handling, MTBF, Pareto Diagram, Perawatan

Abstract

PT. IU is a private company that provides root train pack maintenance services. This study was conducted to determine the average time of treatment of root train packs using the MTBF (Mean Time Between Failure) method, identify and analyze the causes and minimize the risk of failure by using the FMEA (Failure Mode Effect Analysis) method. The results obtained by the average time of treatment of the root train pack in 1 year takes 73.186 hours. Based on the Pareto Diagram, there are 5 types of failures that have the highest frequency, namely: oil filters, engine oil, tire breaks, transmission oil, and diesel filters. Of the five failures that have high RPN (Risk Priority Number) values, namely broken tires, the dominant cause is in bad road conditions with an RPN value of 125. Filter oil, the dominant cause is at unscheduled turnover time with an RPN of 75. Engine oil, the dominant cause is the unscheduled turnover time with an RPN of 75. Solar filter, the dominant cause is the unscheduled turnover time with an RPN of 48. While transmission oil, has a low RPN value of 27. Based on the value The RPN needs corrective action to reduce the failure rate.

Keywords: Care, FMEA, Material Handling, MTBF, Pareto Diagram

1. Pendahuluan

Material handling merupakan alat untuk mempermudah dan mempercepat kegiatan produksi. *Material handling* digunakan untuk mengangkat maupun memindahkan bahan baku dan bahan jadi dari suatu tempat ke tempat yang lain. Kerusakan yang terjadi pada *material handling* dapat berpengaruh terhadap kelancaran dunia industri, sehingga perawatan sangat penting dilakukan untuk mengurangi jumlah kerusakan yang terjadi. Banyaknya kerusakan yang terjadi membuat proses produksi yang seharusnya berjalan sesuai dengan rencana perusahaan menjadi terganggu. Sehingga untuk mengurangi jumlah kerusakan yang terjadi perlu dilakukan perawatan.

Perawatan adalah kegiatan untuk memelihara atau menjaga fasilitas atau peralatan produksi dan mengadakan perbaikan atau pergantian yang diperlukan agar keadaan proses produksi berjalan sesuai dengan apa yang diharapkan. Untuk kelancaran kegiatan produksi perusahaan perlu melakukan perawatan terjadwal terhadap *material handling* yang digunakan.

Perawatan yang dilakukan dengan penjadwalan yang baik akan memberikan keuntungan bagi perusahaan.

FMEA (*Failure Mode Effect Analysis*) adalah alat desain yang digunakan untuk menganalisis secara sistematis kegagalan komponen *postulated* dan mengidentifikasi efek yang pertama adalah *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA), dan yang kedua, *Criticality Analysis* (CA) [1]. Dengan mengevaluasi setiap kegagalan yang terjadi akan mempermudah dalam melakukan perawatan dengan membuat prioritas penanganannya.

MTBF (*Mean Time Between Failure*) adalah waktu rata-rata antar kegagalan dari suatu mesin, dihitung dari mesin pertama kali perbaikan sampai terjadinya kegagalan lagi [2]. Perawatan memiliki arti menjaga (*keep*), mempertahankan (*preserve*), dan melindungi (*protect*) [3]. *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) adalah sebuah metode evaluasi kemungkinan terjadinya sebuah kegagalan dari sebuah sistem, desain, proses atau servis untuk dibuat langkah penanganannya [4].

Penelitian tentang Penerapan Metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dan *Expert System* (Sistem Pakar). Tujuan penelitian adalah untuk mengidentifikasi jenis kegagalan yang sering terjadi pada produk *Link PC 400 Strong R*, penyebab terjadinya kegagalan proses tersebut, jenis efek yang ditimbulkan akibat kegagalan proses, dan kontrol yang dilakukan perusahaan dalam menangani kegagalan proses yang terjadi [5].

Penelitian tentang analisa kegagalan menggunakan *Failure Mode and Effect Analysis*. Penelitian bertujuan untuk menganalisa kegagalan sistem atau grup komponen dengan menggunakan metode FMEA pada unit OHT 777D [6].

Penelitian yang dilakukan bertujuan untuk menentukan waktu rata-rata kerusakan dan prioritas perbaikan berdasarkan jenis kegagalan. Kemudian menganalisa penyebab kegagalan menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dan memberikan usulan tindakan perbaikan.

PT IU adalah sebuah perusahaan swasta yang bergerak di bidang perdagangan dan jasa. Perusahaan ini juga bekerja sama dengan perusahaan lain dalam bagian perawatan *root train pack* yang digunakan oleh sebuah perusahaan. Tabel 1 menunjukkan data kerusakan *root train pack* tahun 2018.

Tabel 1. Data Kerusakan *Root Train Pack*

No.	Kode	Jenis Perawatan						
		Ban pecah	Oli filter	Oli gardan	Oli engine	Water sprator	Oli Transmisi	Filter Solar
1	RTP044	10	6	2	6	2	2	2
2	RTP045	8	11	3	11	4	3	3
3	RTP046	13	12	4	12	2	4	4
4	RTP047	6	7	2	7	1	2	2
5	RTP048	11	11	3	11	3	3	3
6	RTP049	7	10	3	10	2	3	3
7	RTP050	8	12	4	12	4	4	4
8	RTP051	11	7	2	7	1	2	2
9	RTP052	10	11	3	11	3	3	3
10	RTP053	9	12	4	12	4	4	4
Total		93	99	30	99	26	30	30
Waktu Perbaikan (Jam)		279	148,5	45	148,5	39	45	45

Berdasarkan Tabel 1 dapat dilihat jumlah kejadian kegagalan yang terjadi pada *root train pack*. Sangat banyak sehingga perlu dilakukannya penjadwalan perawatan agar dapat mengurangi jumlah kegagalan yang terjadi.

2. Metode Penelitian

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah dengan melakukan observasi untuk mendapatkan informasi yang diperlukan secara langsung. Pengumpulan data yang dilakukan dalam penelitian ini adalah dengan mengumpulkan data primer seperti jumlah kerusakan yang terjadi dan juga wawancara untuk mendapatkan informasi penyebab kerusakan yang terjadi.

Data yang digunakan adalah data kerusakan pada tahun 2018. Tahapan pengolahan data:

- a. Menghitung waktu rata-rata kegagalan dengan menghitung waktu rata-rata dan frekuensi kerusakan yang terjadi pada *root train pack*. Tahap pertama yang dilakukan adalah dengan menghitung waktu rata-rata kerusakan yang terjadi pada *root train pack* menggunakan metode MTBF (*Mean Time Between Failure*) [7].

$$MTBF = \frac{\text{Total Operation Time}}{\text{Frekuensi Breakdown}}$$

- b. Membuat Pareto Diagram untuk menentukan penyebab kegagalan yang paling dominan. Diagram Pareto adalah grafik batang yang menunjukkan masalah berdasarkan urutan banyaknya kejadian [8]. Pareto diagram adalah diagram batang yang digunakan untuk menggolongkan beberapa kategori dan dilengkapi dengan persentase masing-masing kegagalan dari yang paling besar sampai paling kecil. Pareto Diagram mengidentifikasi 80% dari kegagalan yang terjadi berasal dari 20% dari penyebabnya [9].
- c. Melakukan Analisa dengan menggunakan metode FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) untuk mengidentifikasi penyebab kegagalan yang terjadi pada *root train pack*

3. Hasil dan Pembahasan

Daftar jenis cacat pada *Root Train Pack* di PT. IU dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Jenis-Jenis Cacat pada Root Train Pack

No.	Jenis Cacat	Tindakan
1.	Ban pecah	Mengganti ban yang pecah dengan ban cadangan
2.	Oli filter	Membersihkan dan mengganti dengan yang baru
3.	Oli gardan	Membersihkan dan mengganti dengan yang baru
4.	Oli engine	Membersihkan dan mengganti dengan yang baru
5.	Water sprator	Membersihkan dan mengganti dengan yang baru
6.	Oli transmisi	Membersihkan dan mengganti dengan yang baru
7.	Filter solar	Membersihkan dan mengganti dengan yang baru

Tabel 3 Menunjukkan data kerusakan pada *root train pack*.

Tabel 3. Data Kerusakan Pada Root Train Pack

No.	Kejadian	Jumlah kejadian dalam 1 tahun	Waktu perbaikan (jam)
1	Ban Pecah	93	279
2	Oli filter	99	148,5
3	Oli gardan	30	45
4	Oli engine	99	148,5
5	Water sprator	26	39
6	Oli transmisi	30	45
7	Filter solar	30	45

Perhitungan dilakukan pada setiap 10 unit *root train pack*. Tabel 4 menunjukkan rekapitulasi kerusakan *root train pack* untuk 10 unit.

Tabel 4. Rekapitulasi Kerusakan *Root Train Pack*

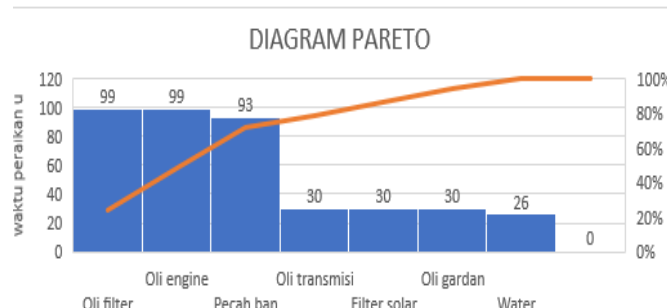
No.	Kode	MTBF
1	<i>Root Train Pack</i> 044	95,33
2	<i>Root Train Pack</i> 045	66,13
3	<i>Root Train Pack</i> 046	55,37
4	<i>Root Train Pack</i> 047	106,31
5	<i>Root Train Pack</i> 048	63,02

6	Root Train Pack 049	75,06
7	Root Train Pack 050	59,08
8	Root Train Pack 051	89,23
9	Root Train Pack 052	64,52
10.	Root Train Pack 053	57,81
Rata-Rata		73,186

Berdasarkan pengumpulan data yang dilakukan maka bisa dilihat frekuensi dari tingkat kecacatan pada *Root Train Pack* pada diagram pareto berikut:

Tabel 5. Persen Kumulatif Kejadian pada *Root Train Pack*

No	Kejadian	Frekuensi	Frekuensi Kumulatif	% Frekuensi	% Frekuensi Kumulatif
1	Oli filter	99	99	24,3	24,3
2	Oli engine	99	198	24,3	48,6
3	Ban Pecah	93	291	22,8	71,4
4	Oli transmisi	30	321	7,4	78,8
5	Filter solar	30	351	7,4	86,2
6	Oli gardan	30	381	7,4	93,6
7	Water sprator	26	407	6,4	100
Jumlah		407		100	



Gambar 1. Diagram Pareto

Berdasarkan Gambar 1 persen kumulatif, penyebab kegagalan dominan pada *root train pack* adalah oli filter, oli engine, ban pecah, oli transmisi dan filter solar. Setelah diperoleh penyebab dominan kemudian dilakukan analisa dengan menggunakan metode FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) untuk menentukan tindakan perbaikan yang dilakukan oleh perusahaan. Tabel 6 menunjukkan analisis menggunakan metode FMEA pada *root train pack*.

Tabel 6. Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) pada *Root Train Pack*

No	Potential Effect of Failure	Potential cause of Failure	S	O	D	RPN	Rekomendasi Tindakan Perbaikan
1.	Oli filter berguna untuk mencegah kotoran masuk ke dalam mesin	Kualitas oli filter yang digunakan di bawah standar.	3	4	4	48	• Kualitas oli filter yang digunakan seharusnya telah memiliki api grade CK-4.
		Waktu penggantian oli filter yang tidak terjadwal.	3	5	5	75	• Perlu dilakukan penjadwalan penggantian oli filter setiap 1 bulan sekali.
2.	Oli engine berguna untuk meminimumkan terjadinya benturan antar logam dengan logam mesin.	Kualitas oli engine yang digunakan di bawah standar.	3	4	4	48	• Kualitas oli filter yang digunakan seharusnya telah memiliki api grade CK-4.
		Waktu penggantian oli engine yang tidak terjadwal	3	5	5	75	• Perlu dilakukan penjadwalan pada

3.	pecah ban adalah suatu kejadian ketika ban tidak dapat berfungsi lagi	• Kelalaian sopir.	3	3	3	27	<ul style="list-style-type: none"> • penggantian oli <i>engine</i> setiap 1 bulan sekali. • Melakukan pengawasan dan memberikan motivasi kepada sopir. • Perlu dilakukan pengecekan ban pada setiap rute perjalanan. • Perlu adanya standar ban yang digunakan.
		• Kondisi jalan yang tidak baik.	5	5	5	125	
		• Kualitas ban yang digunakan di bawah standar.	3	3	3	27	
4	Oli transmisi berguna untuk pelumas yang memuluskan kerja komponen pada mesin.	• Kualitas oli transmisi yang digunakan di bawah standar	3	3	3	27	<ul style="list-style-type: none"> • Kualitas oli transmisi yang digunakan telah memiliki api <i>grade</i> CK-4. • Perlu dilakukan penjadwalan pergantian oli transmisi setiap 2 bulan sekali.
		• Waktu penggantian oli transmisi yang tidak terjadwal	3	3	3	27	
	<i>Filter solar</i> digunakan untuk mencegah masuknya sulfur dan endapan air masuk ke dalam <i>injector</i> .	• Waktu penggantian <i>filter solar</i> yang tidak terjadwal.	3	4	4	48	<ul style="list-style-type: none"> • Perlu dilakukan penjadwalan pergantian <i>filter solar</i> setiap 2 bulan sekali.

Pada Tabel 6 dapat disimpulkan kegagalan yang terjadi dan perhitungan nilai RPN terbesar dapat di deskripsikan sebagai berikut:

- 1) Oli *filter* bertujuan mencegah kotoran masuk ke dalam mesin.
 - a. *Severity*, bobot pada kualitas oli *filter* dan waktu pergantian oli *filter* adalah 3, karena akibat yang ditimbulkan sangat berpengaruh namun masih berada dalam batas toleransi.
 - b. *Occurance*, bobot pada kualitas oli yang digunakan adalah 4, karena dari frekuensi mengganti oli *filter* di bawah standar sebanyak 30 kejadian. Bobot nilai *Occurance* pada waktu pergantian oli yang tidak terjadwal adalah 5, karena frekuensi yang didapatkan adalah sebanyak 69 kejadian.
 - c. *Detection*, bobot pada kualitas oli yang digunakan adalah 4, karena jumlah frekuensi mengganti oli *filter* di bawah standar sebanyak 30 kejadian. Hal ini menandakan bahwa penyebab terjadi masih tinggi. Pada waktu pergantian oli yang tidak terjadwal bobot nilai *detection* adalah 5, karena jumlah frekuensi penggantian oli yang tidak terjadwal adalah sebanyak 69 kejadian, karena pencegahan yang dilakukan berada pada interval 50 sampai 100, maka pencegahan yang dilakukan dikatakan belum efektif.
- 2) Oli *engine* bertujuan untuk meminimumkan terjadinya benturan antar logam dengan logam mesin.
 - a. *Severity*, bobot pada kualitas oli *engine* dan waktu pergantian oli *engine* adalah 3, karena akibat yang ditimbulkan sangat berpengaruh namun masih berada dalam batas toleransi.
 - b. *Occurance*, bobot pada kualitas oli yang digunakan adalah 4, hal ini dikarenakan dari frekuensi mengganti oli *engine* di bawah standar sebanyak 30. Bobot nilai *Occurance* pada waktu pergantian oli yang tidak terjadwal adalah 5. Karena frekuensi yang didapatkan adalah sebanyak 69 kejadian.
 - c. *Detection*, bobot pada kualitas oli yang digunakan adalah 4, karena jumlah frekuensi terjadinya sebanyak 30 kejadian, karena pencegahan yang dilakukan berada pada interval 20 sampai 50. Hal ini menandakan bahwa penyebab terjadi masih tinggi. Pada waktu pergantian oli yang tidak terjadwal bobot nilai *detection* adalah 5, karena jumlah frekuensi penggantian oli *engine* yang digunakan adalah sebanyak 69 kejadian. karena pencegahan yang dilakukan berada pada interval 50 sampai 100, maka pencegahan yang dilakukan belum efektif.

- 3) Ban pecah adalah suatu kejadian ketika ban tidak dapat berfungsi sebagai mana mestinya. Ban pecah terjadi karena kelalaian pada sopir saat mengendarai *root train pack*, kondisi jalan yang tidak baik dan kualitas ban yang digunakan tidak bagus.
 - a. *Severity*, bobot pada kelalaian supir adalah 3, hal ini dikarenakan kerugian yang di timbulkan masih dapat ditoleransi. Pada kondisi jalan yang tidak baik bobot nilai *severity* adalah 5, banyaknya frekuensi penyebab pecah ban karena kondisi jalan yang tidak baik membuat hal ini tidak dapat ditoleransikan. Bobot nilai *severity* pada kualitas ban yang digunakan adalah 3, hal ini karena kerugian yang ditimbulkan masih dapat di toleransi.
 - b. *Occurance*, Bobot pada kelalaian supir adalah 3, hal ini dikarenakan dari 93 penyebab terjadinya pecah ban karena kelalaian supir hanya sebanyak 11 kejadian. Pada kondisi jalan yang tidak baik bobot nilai *occurance* adalah 5, karena jumlah frekuensi pecah ban karena kondisi jalan yang tidak baik adalah sebanyak 67 kejadian. Bobot nilai *occurance* pada kualitas ban yang digunakan adalah 3, karena jumlah frekuensi kualitas ban yang digunakan adalah sebanyak 15 kejadian.
 - c. *Detection*, bobot pada kelalaian supir adalah 3, karena penyebab yang di timbulkan hal ini dikarenakan dari 93 penyebab terjadinya pecah ban karena kelalaian supir terjadi sebanyak 11 kejadian. Hal ini menandakan bahwa penyebab masih bersifat moderat. Pada kondisi jalan yang tidak baik bobot nilai *detection* adalah 5, karena jumlah frekuensi pecah ban karena kondisi jalan yang tidak baik adalah sebanyak 67 kejadian. Karena pencegahan yang dilakukan berada pada interval 50 sampai 100, maka pencegahan yang dilakukan belum efektif. Bobot nilai *detection* pada kualitas ban yang digunakan adalah 3, karena jumlah frekuensi kualitas ban yang digunakan adalah sebanyak 15 kejadian. Hal ini menandakan bahwa penyebab masih bersifat moderat.
- 4) Oli transmisi adalah sebagai pelumas yang memuluskan kerja komponen pada mesin.
 - a. *Severity*, bobot pada kualitas oli gardan dan waktu pergantian oli transmisi yang tidak terjadwal adalah 3, karena akibat yang ditimbulkan sangat berpengaruh namun masih berada dalam batas toleransi.
 - b. *Occurance*, bobot pada kualitas oli yang digunakan adalah 3, hal ini dikarenakan dari frekuensi pengganti oli gardan di bawah standar sebanyak 12 kejadian. Bobot nilai *Occurance* pada waktu pergantian oli yang tidak terjadwal adalah 3. Karena frekuensi yang didapatkan adalah sebanyak 18 kejadian.
 - c. *Detection*, bobot pada kualitas oli yang digunakan adalah 3, karena penyebab kejadian masih bersifat moderat. Pada waktu pergantian oli yang tidak terjadwal bobot nilai *detection* adalah 3, karena frekuensi pergantian oli transmisi yang digunakan sebanyak 18 kejadian. Hal ini menandakan bahwa penyebab masih bersifat moderat.
- 5) *Filter solar* diperlukan untuk menyaring kandungan sulfur yang tinggi serta endapan air sehingga mencegah masuk ke dalam *injector*.
 - a. *Severity*, bobot pada waktu pergantian *filter solar* adalah 3, karena akibat yang ditimbulkan sangat berpengaruh namun masih berada dalam batas toleransi.
 - b. *Occurance*, bobot pada waktu pergantian *filter solar* yang tidak terjadwal adalah 4, hal ini dikarenakan dari frekuensi waktu pergantian *filter solar* yang tidak terjadwal adalah sebanyak 30 kejadian.
 - c. *Detection*, bobot pada waktu pergantian *filter solar* yang tidak terjadwal adalah 4, karena jumlah frekuensi terjadinya sebanyak 30 kejadian. Hal ini menandakan bahwa penyebab terjadi masih tinggi.

Dapat disimpulkan penyebab- penyebab yang memiliki nilai RPN tertinggi yaitu ban pecah, penyebab dominan adalah pada kondisi jalan yang tidak baik dengan nilai RPN sebesar 125. Oli *filter*, waktu pergantian yang tidak terjadwal dengan RPN sebesar 75. Oli *engine*, waktu pergantian yang tidak terjadwal dengan RPN sebesar 75. *Filter solar*, waktu pergantian yang tidak terjadwal dengan RPN sebesar 48. Sedangkan oli transmisi, mempunyai nilai RPN yang masih rendah yaitu 27. Sehingga perlu dilakukan tindakan untuk mengurangi kegagalan yang terjadi pada ban pecah.

4. Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat disimpulkan Waktu rata-rata yang diperlukan perawatan *root train pack* adalah selama 73,186 jam dalam waktu 1 tahun. Jenis kerusakan yang terjadi pada *root train pack* adalah oli *filter*, dan oli *engine*, ban pecah, oli transmisi, dan *filter solar*. Berdasarkan lima jenis kejadian tersebut dapat diidentifikasi beberapa penyebab yang sering terjadi, di antaranya ada yang memiliki nilai RPN tertinggi yaitu ban pecah, penyebab dominan adalah pada kondisi jalan yang tidak baik dengan nilai RPN sebesar 125. Oli *filter*, waktu pergantian yang tidak terjadwal dengan RPN sebesar 75. Oli *engine*, waktu pergantian yang tidak terjadwal dengan RPN sebesar 75. *Filter solar*, waktu pergantian yang tidak terjadwal dengan RPN sebesar 48. Sedangkan oli transmisi, mempunyai nilai RPN yang masih rendah yaitu 27. Perusahaan dapat menggunakan hasil dari penelitian ini untuk menjadi masukan dalam melakukan penjadwalan perawatan. Untuk penelitian selanjutnya dapat menggunakan metode terbaru agar memberikan hasil yang lebih optimal bagi perusahaan

5. Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada dosen pembimbing dan kepada pembimbing peneliti di PT. IU yang telah membimbing peneliti sehingga dapat menyelesaikan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] Hendra, F., & Effendi, R. (2018). Identifikasi Penyebab Potensial Kecacatan Produk dan Dampaknya dengan Menggunakan Pendekatan Failure Mode Effect Analysis (FMEA). *SINTEK JURNAL: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 12(1), 17-24.
- [2] Daulay, I. N., Nurutami, S. S., & Daniel, D. D. (2013). Analisis Maintenance Reliability Terhadap MTBF (Mean Time Between Failures) Facilities Pada Industri Pulp & Paper. *Jurnal Ekonomi*, 21(04).
- [3] Ngadiyono, Y. (2010). *Pemeliharaan Mekanik Industri*, Kementerian Pendidikan Nasional Universitas Negeri Yogyakarta Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Yogyakarta.
- [4] Andiyanto, S., Sutrisno, A., & Punuhsingon, C. C. (2017). Penerapan metode FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) untuk kuantifikasi dan pencegahan resiko akibat terjadinya lean waste. *JURNAL ONLINE POROS TEKNIK MESIN UNSRAT*, 6(1).
- [5] Badariah, N., Sugiarto, D., & Anugerah, C. (2016). Penerapan Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) dan Expert System (Sistem Pakar). *Prosiding Semnastek*.
- [6] Putra, C. D., Syarif, A., & Isworo, H. (2018). Analisa Kegagalan Menggunakan Metode Failure Mode and Effect Analisis (FMEA) Pada Unit Off-Highway Truck 777D. *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika*, 3(1), 33-42.
- [7] Syafiq, M., & Cahyati, S. (2018, October). Analisis Sistem Perawatan Unit Caterpillar Track Type Tractor D5K Dengan Pendekatan Fault Tree Analysis. In *PROSIDING SEMINAR NASIONAL CENDEKIAWAN* (pp. 463-469).
- [8] Yemima, O., Nohe, D. A., & Nasution, Y. N. (2014). Penerapan Peta Kendali Demerit dan Diagram Pareto Pada Pengontrolan Kualitas Produksi (Studi Kasus: Produksi Botol Sosro di PT. X Surabaya).
- [9] Basterfield, D. H. (1998). *Quality Control, Fifth Edition*, Printice-Hall Internasional, Inc., London.