

# Optimalisasi Penggunaan *Ground Power Unit* pada Kegiatan Perawatan Pesawat Udara di PT. IAA AMO dengan Metode FMEA

Sandi Kurniawan 1<sup>1</sup>, Indah Apriliana Sari 2\*<sup>2</sup>, Tedjo Sukmono 3<sup>3</sup>  
kurniawan01278@gmail.com<sup>1</sup>, indahapriliana@umsida.ac.id\*<sup>2</sup>, thedjoss@umsida.ac.id<sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup>Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo

---

## *Informasi Artikel*

---

Kata kunci :

FMEA;

MTBF;

MTTF;

RPN;

---

---

## *Abstract*

---

*PT. IAA AMO is a manufacturing industry engaged in aircraft maintenance. The problem faced is the reliability of the GPU machine which is low at 86%, this can cause an increase in the company's operational costs. The object of this research is focused on production instrumentation equipment, namely GPU engines as electricity generators when aircraft are undergoing maintenance. This research uses the Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) method which is used as a reference for identifying the causes of damage and the effects resulting from the damage by determining the critical value of the component, namely the largest Risk Priority Number (RPN). Apart from that, the Mean Time To Failure (MTTF) and Mean Time Between Failure (MTBF) of these components are calculated to minimize the occurrence of breakdown and downtime. The aim of this research is to optimize the use of GPUs in aircraft maintenance to minimize breakdowns by using the Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) method. Based on the results of the highest RPN calculation, there are three components, namely the oil filter with an RPN value of 405, the potentiometer with an RPN of 340, and the battery with an RPN of 168. The MTTF calculation result is 311 hours while for the MTBF it is 373 hours from the GPU engine. To prevent this from happening This sudden breakdown can be prevented by carrying out several alternatives such as preventive maintenance in the form of checking non-repairable components at the 311th hour and for repairable components at the 373rd hour. Before the GPU experiences a breakdown*

---

## Abstrak

---

Untuk melakukan sitasi pada penelitian ini dengan format : Kurniawan, Apriliana, dan Sukmono., (2024). Optimalisasi Penggunaan *Ground Power Unit* pada Kegiatan Perawatan Pesawat Udara di PT. IAA AMO dengan Metode FMEA.

PT. IAA AMO merupakan Industri manufaktur yang bergerak di bidang perawatan pesawat udara. Masalah yang dihadapi ialah *reliability* dari mesin GPU yang rendah 86%, hal ini dapat menyebabkan meningkatnya biaya operasional perusahaan. Objek penelitian ini difokuskan pada peralatan instrumentasi produksi yaitu mesin GPU sebagai generator pembangkit listrik pada saat pesawat melakukan *maintenance*. Penelitian ini menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* digunakan sebagai acuan mengidentifikasi penyebab kerusakan serta efek yang ditimbulkan dari kerusakan tersebut dengan menentukan nilai kritis dari komponen yakni *Risk Priority Number (RPN)* yang terbesar. Selain itu dilakukan perhitungan *Mean Time To Failure (MTTF)* dan *Mean Time Between Failure (MTBF)* dari komponen tersebut untuk meminimalisir terjadinya *breakdown* dan *downtime*. Tujuan dari penelitian ini adalah mengoptimalkan penggunaan GPU pada perawatan pesawat udara untuk meminimalisir terjadinya *breakdown* dengan menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*. Berdasarkan hasil perhitungan *RPN* yang tertinggi terdapat pada tiga komponen yaitu *Oil filter* dengan nilai *RPN* sebesar 405, *Potensiometer* dengan *RPN* sebesar 340, dan *Battery* dengan *RPN* sebesar 168. Hasil perhitungan *MTTF* sebesar 311 jam sedangkan untuk *MTBF* 373 jam dari mesin GPU. Untuk mencegah terjadinya *breakdown* secara tiba-tiba hal ini dapat dicegah dengan melakukan beberapa alternatif seperti *preventive maintenance* berupa pengecekan untuk komponen *non repairable* di jam ke 311 dan untuk komponen *repairable* di jam ke 373 jam. Sebelum GPU mengalami *breakdown*

---

## 1. Pendahuluan

PT. IAA AMO merupakan perusahaan jasa penyelenggara perawatan pesawat udara. Sebagai penyelenggara perawatan pesawat udara PT. IAA AMO mempunyai peralatan penunjang dalam melakukan perawatan pesawat udara berupa *Ground Power Unit (GPU)*. GPU sendiri digunakan sebagai genset atau generator ketika pesawat melakukan perawatan[1]. Sedangkan pesawat sendiri mempunyai generator sebagai sumber utama kelistrikan pada saat pesawat *on ground* yang bernama *Auxiliary Power Unit (APU)*[2].

Agar didapat kegiatan perawatan pesawat udara yang efisien diperlukan *unit GPU* yang handal. Suatu mesin dikatakan handal jika nilai probabilitas keandalan dari mesin tersebut berkisar antara 0-1, atau suatu komponen dikatakan mampu melaksanakan tugasnya dengan baik dalam kurun waktu tertentu apabila nilai mutu tetapnya mendekati atau meningkat menjadi 1 (100%)[3][4]. PT IAA AMO sendiri mempunyai standar *reliability GPU* sebesar 98%. Kendala yang dihadapi saat ini di PT IAA AMO surabaya ada *unit GPU* yang sering mengalami *breakdown* tercatat pada bulan juni mengalami tiga kali *breakdown* dengan proses perbaikan mencapai 2 hari. Yang mana pada saat kegiatan perawatan pesawat udara peran GPU akan diganti oleh APU yang pemakaian bahan bakarnya cenderung lebih

banyak dibandingkan dengan GPU[2]. Terdapat satu unit GPU di PT IAA AMO surabaya reliabilty dari mesin tersebut hanya mampu mencapai 86% yang artinya masih dibawah target dari perusahaan. Dengan ini perusahaan akan mengalami kerugian dengan mengeluarkan biaya lebih untuk kegiatan perawatan pesawat udara.

Banyak penelitian sebelumnya yang membahas serta mengidentifikasi kegagalan, mulai dari proses produksi sarung alat tenun mesin, kemudian mesin packaging otomatis untuk mengurangi terjadinya *six big losses*, dan alat-alat militer digunakanlah metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)[5][6]. Meski metode ini sudah berusia hampir 70 tahun, namun dalam literatur masih banyak peneliti, baik dari akademi maupun industri, yang mengabdikan diri untuk menyempurnakannya dan mengatasi permasalahan yang belum terpecahkan dan masih terbuka[7]. Pada penelitian sebelumnya terdapat penentuan waktu perawatan pada APU pesawat udara dengan menggunakan metode FMEA dan *Fault Tree Analysis* (FTA) dari komponen yang sering menyebabkan APU *breakdown* namun belum dapat mengetahui waktu yang tepat untuk melakukan waktu perawatan terbaik pada mesin APU tersebut[2][8]. Dengan mengkombinasikan FMEA dengan menghitung banyaknya rata rata komponen diantara penggantian *Mean Time Between Failure* (MTBF) dan waktu yang diperlukan komponen hingga mengalami kerusakan *Mean Time To Failure* (MTTF) maka akan didapatkan rekomendasi waktu *maintenance* yang tepat sebelum GPU mengalami *breakdown*[4][9].

Tujuan dari penelitian ini adalah mengoptimalkan penggunaan GPU pada perawatan pesawat udara dan meminimalisir terjadinya *breakdown* dengan menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)[10]. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat membantu perusahaan dalam meminimalisir terjadinya kegagalan pada mesin GPU sehingga dapat meningkatkan utilitas mesin GPU itu sendiri.

## **2. Metode Penelitian**

### **2.1 Desain penelitian**

Metode penelitian yang digunakan merupakan penelitian deskriptif yang mana jenis penelitian ini mendeskripsikan suatu gejala atau peristiwa pada saat ini, untuk mendapatkan jawaban dari fenomena atau kejadian tersebut[11].

### **2.2 Populasi dan sampel**

Populasi yang digunakan merupakan jumlah banyaknya mesin GPU mengalami *breakdown*, komponen apa saja yang menyebabkan GPU mengalami *breakdown* serta di jam ke berapa mesin tersebut mengalami *breakdown*. Data yang digunakan yaitu berupa data

primer dengan menghitung nilai MTTF, MTBF dan nilai RPN. Serta *expert* yang terlibat sebagai objek penelitian sebanyak tiga orang masing-masing satu orang ahli pesawat udara, teknisi serta operator mesin GPU dan *aircraft maintenance supervisor*. Sedangkan data sekunder yaitu data *breakdown GPU* dari bulan Januari – Desember 2023.

### 2.3 Instrumen

Objek penelitian yang diamati yaitu sebuah mesin/alat GPU yang digunakan sebagai pembangkit listrik pada saat pesawat melakukan *maintenance* di PT IAA AMO surabaya station.

### 2.4 Metode pengumpulan dan analisis data

Metodologi penelitian adalah langkah-langkah yang diambil untuk mencapai tujuan yang diinginkan. Dalam penelitian ini digunakan Metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). Sebelum dilakukan perhitungan FMEA dilakukan perhitungan *Mean Time To Failure* (MTTF) yaitu ukuran rata-rata suatu mesin hingga mengalami kerusakan. Dapat ditentukan dengan menggunakan rumus[12].

$$MTTF = \theta = \frac{\text{Total operation Time}}{\text{Frekuensi Breakdown}} \dots (1)$$

Sedangkan *Mean Time Between Failure* MTBF yaitu waktu rata-rata kerusakan mesin setelah dilakukan perbaikan hingga mesin mengalami kerusakan kembali[14][15]. Dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut[13][14] [15].

$$MTBF = \frac{\text{Total operation Time}}{\text{Frekuensi Breakdown}} \dots (2)$$

Metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) adalah teknik penelitian untuk mendeteksi, mengidentifikasi, dan mengurangi kegagalan, masalah, dan kesalahan yang diketahui dalam sistem, desain, proses, atau layanan sebelum produk mencapai konsumen[16][17][18]. FMEA memperhatikan berbagai jenis kegagalan dalam sistem dan menganalisis dampaknya terhadap keandalan sistem dengan melacak dampak dari kegagalan komponen sesuai dengan tingkatan komponen yang paling kritis[19]. Metode ini bertujuan untuk mengevaluasi desain sistem dengan melakukan tindakan yang diperlukan untuk meningkatkan keandalan desain dan menghilangkan atau mengurangi kemungkinan terjadinya kegagalan[20].

Penerapan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). Langkah yang diambil untuk menerapkan metode FMEA setelah dilakukan pengambilan data yaitu[21]:

- a. Menetapkan nilai *severity rating* (S)[22].

*Severity rating* adalah tingkat keparahan dari efek kegagalan yang ditimbulkan. Semakin parah efek yang ditimbulkan maka semakin tinggi nilai rating yang diberikan.

b. Menetapkan nilai *occurrence* (O).

Kemungkinan kejadian (*occurrence*) merupakan kemungkinan bahwa penyebab tersebut akan terjadi dan menghasilkan bentuk kegagalan selama sistem beroperasi[23].

c. Menetapkan nilai *detection* (D).

Nilai *detection* adalah nilai pengukuran terhadap kemampuan mendeteksi untuk mengendalikan / mengontrol kegagalan yang dapat terjadi[18].

Setelah semua data didapatkan dilakukan penentuan nilai *Risk Priority Number* (RPN)[24][16]. Mengklasifikasikan kegagalan berdasarkan nilai *Risk Priority Number* (RPN) menganalisis komponen mana yang merupakan komponen dasar yang memiliki nilai *downtime* tertinggi atau nilai RPN terbesar dan seberapa besar pengaruhnya terhadap sistem, sehingga dapat diputuskan perawatan yang tepat[4][25]. Untuk menentukan *Risk Priority Number* (RPN) dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut[12][15][26]:

$$\text{RPN} = \text{Severity} * \text{Occurrence} * \text{Detection} \dots (3)$$

Untuk selanjutnya didapatkan rekomendasi perbaikan dan perawatan komponen mana yang paling sering mengalami kerusakan agar dikemudian hari tidak terjadi *breakdown* yang berkelanjutan

### 3. Hasil dan Pembahasan

Dalam penelitian ini data yang dikumpulkan adalah waktu kerusakan dan perbaikan mesin GPU dari bulan Januari - Desember 2023. Menurut *expert* selaku teknisi mesin GPU menyatakan lamanya *downtime* tergantung dari lamanya proses *troubleshooting*, akses komponen saat melakukan penggantian, dan ketersediaan *spare part*. Semakin mudah *spare part* tersedia maka semakin cepat waktu untuk melakukan perbaikan.

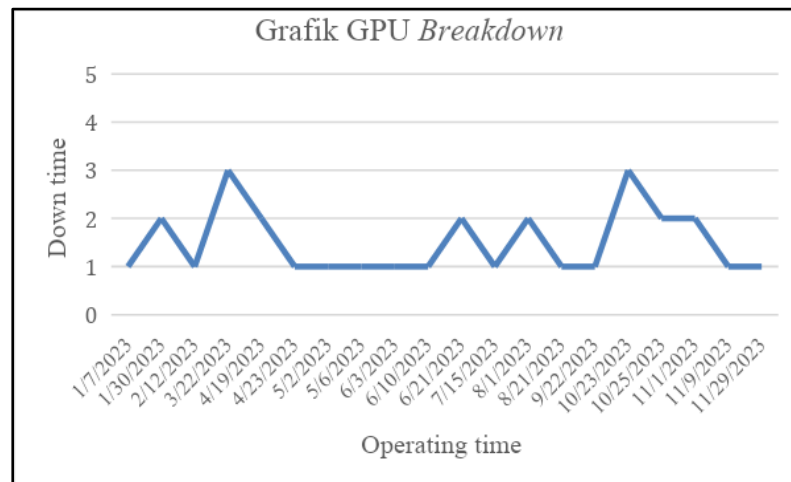
**Tabel 1.** Break down GPU dari bulan Januari -Desember 2023

Jenis Kerusakan	Komponen yang rusak	Lama downtime	Utilization	Tanggal
Unable to start	Battery weak	1 Day	8867:55:00	07/01/23
GPU Trip under voltage	Potensiometer	2 Days	8868:35:00	30/01/23
GPU Trip	Connector plug	1 Day	8870:35:00	12/02/23
Low oil press	Oil pump	3 Days	8876:25:00	22/03/23
GPU Trip unable connect to aircraft	Potensiometer	2 Days	8898:27:00	19/04/23
Overheat	Radiator cap	1 Day	8904:40:00	23/04/23
Unable to start	Battery weak	1 Day	8917:35:00	02/05/23
Unable connect to aircraft	Connector plug	1 Day	8919:37:00	06/05/23

<i>Fuel Low Pressure</i>	<i>Fuel filter</i>	<i>1 Day</i>	8921:40:00	03/06/23
<i>V-Belt broken</i>	<i>V-belt</i>	<i>1 Day</i>	98951:54:00	10/06/23
<i>GPU Trip unable connect to aircraft</i>	<i>Potensiometer</i>	<i>2 Days</i>	8957:19:00	21/06/23
<i>Overheat</i>	<i>Oil filter</i>	<i>1 Day</i>	8961:21:00	15/07/23
<i>Under voltage</i>	<i>POTENSIOMETER</i>	<i>2 Days</i>	8966:25:00	01/08/23
<i>Overheat</i>	<i>Oil filter</i>	<i>1 Day</i>	8978:27:00	21/08/23
<i>Gpu Unable To Start After Check Battery No. 2 Drop At 10 Vdc</i>	<i>Battery</i>	<i>1 Day</i>	8999:28:00	22/09/23
<i>Hose Fuel Line To Engine Finding Leak</i>	<i>Fuel line assy</i>	<i>3 Days</i>	9026:28:00	23/10/23
<i>Hose Fuel Line Return Finding Leak</i>	<i>Fuel line assy</i>	<i>2 Days</i>	9026:28:00	25/10/23
<i>During Support Aircraft Maintenance Experience Under Voltage</i>	<i>Potensiometer</i>	<i>2 Days</i>	9030:07:00	01/11/23
<i>Fuel Low Press</i>	<i>Fuel filter</i>	<i>1 Day</i>	9041:00:00	09/11/23
<i>Low Oil Press</i>	<i>Oil filter</i>	<i>1 Day</i>	9061:27:00	29/11/23

Berikut merupakan grafik GPU *breakdown* dan lamanya *down time* dari bulan Januari -Desember 2023

**Gambar 1.** Grafik Break down GPU dari bulan Januari - Desember 2023



Dari grafik tersebut diketahui *downtime* terlama selama tiga hari terjadi pada bulan Maret dan Oktober dengan kerusakan berupa *low oil pressure* dan kebocoran pipa bahan bakar.

Berdasarkan data kerusakan mesin GPU selama periode bulan Januari – Desember 2023 maka diperoleh perhitungan MTTF & MTBF sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 MTTF &= \theta = \frac{\text{Total operation Time}}{\text{Frekuensi Breakdown}} \\
 &= \frac{3730,33}{12} \\
 &= 310,86 \\
 &= 311 \text{ Hours}
 \end{aligned}$$

Didapatkan perhitungan waktu terbaik untuk melakukan *preventive maintenance* untuk mesin GPU dengan komponen *non repairable* seperti *potensiometer*, *fuel filter oil filter* dan *V-belt* yaitu di setiap 310,86 *Hours*.

$$\begin{aligned}
 MTBF &= \frac{\text{Total operation Time}}{\text{Frekuensi Breakdown}} \\
 &= \frac{2979,35}{8} \\
 &= 372,42 \text{ Hours} \\
 &= 373 \text{ Hours}
 \end{aligned}$$

Sedangkan untuk komponen – komponen *repairable* seperti *battery*, *fuel line assy*, dan *connector plug* yaitu pada 372,42 Hours.

Selanjutnya menentukan RPN untuk mengetahui nilai kritis dari komponen yang paling banyak menyebabkan GPU mengalami *breakdown*, perhitungan menggunakan nilai rating yang menggambarkan tingkat kerusakan yang terjadi pada saat mesin beroperasi. Berdasarkan analisis menggunakan FMEA maka nilai *Risk Priority Number* (RPN) yang didapatkan dari perkalian *severity rating*, *occurance* dan *detection* masing-masing komponen yaitu.

**Tabel 2.** Perhitungan hasil FMEA

FMEA Worksheet		Sistem Mesin GPU							
Part/procs	Function	Potential Failure Mode	Potential Effect Of Failure	Sev (1-10)	Subsistem Mesin Penggerak			Det (1-10)	RPN
					Potential Cause Of Failure	Occ (1-10)	Current Controls		
Potensiometer	Mengatur dan membatasi kerja dari GPU over current, over voltage & over frequency	Over current	GPU Trip unable connect to aircraft	9	Beban dan umur mesin yang sudah lama	2	Mengontrol komponen potensiometer	10	180
		Under voltage	GPU Trip unable connect to aircraft	8	Beban dan umur mesin yang sudah lama	2	Mengontrol komponen potensiometer	10	160
<i>Total RPN</i>									<b>340</b>
Oil filter	Menyaring kotoran oli yang dihasilkan dari sirkulasi oli	Low Oil Press	Mesin auto shutdown	9	Kelalaian operator (Telat service)	3	Mengontrol pemakaian usia oil filter	9	243
		Overheat	Mesin auto shutdown	9	Kerusakan internal mesin	2	Mengontrol pelumasan	9	162
<i>Total RPN</i>									<b>405</b>
Battery	Digunakan untuk menstart GPU	Gpu Unable To Start	Battery weak	7	Start cycle yang terlalu seirng dan pengoperasian yang sudah lama	3	Melakukan charging secara periodic	8	<b>168</b>

Dapat diketahui dari tabel *Failure Modes and Effect Analyze* (FMEA) bahwa nilai total RPN yang tertinggi berturut-turut dari yang terbesar terdapat pada tiga komponen yaitu *Oil filter* dengan nilai RPN sebesar 405, *Potensiometer* dengan RPN sebesar 340, dan *Battery* dengan RPN sebesar 168.

Dengan mengetahui *Oil filter*, *Potensiometer*, dan *Battery* sebagai komponen paling kritis maka didapat alternatif berupa menyediakan *spare part* pada ketiga komponen yang paling sering menyebabkan GPU *breakdown* untuk meminimalisir waktu *downtime* akibat

lamanya menunggu *spare part* tersedia. Alternatif yang lain yaitu dengan diketahui MTTF serta MTBF maka dapat dilakukan *preventive maintenance* sebelum 310 jam pada komponen *potensiometer* dan *oil filter* sedangkan untuk komponen *Battery* sendiri *preventive maintenance* dapat dilakukan sebelum *Battery* berumur 372 jam guna memaksimalkan umur ketiga komponen tersebut dan menghindari *breakdown* pada GPU secara tiba-tiba dikemudian hari.

Optimalisasi penggunaan mesin GPU pada kegiatan perawatan pesawat udara dapat tercapai dengan memaksimalkan utilitas kerja mesin GPU, ini terjadi apabila banyaknya *breakdown* dan lamanya waktu *downtime* dapat diminimalisir dengan mengetahui komponen serta waktu terbaik untuk melakukan perawatan pada komponen-komponen yang kritis.

#### **4. Kesimpulan**

Alternatif yang dapat dilakukan untuk mencegah GPU *breakdown* dengan cara melakukan *preventive maintenance* pada mesin GPU dengan komponen *non repairable* seperti *potensiometer*, *fuel filter* *oil filter* dan *V-belt* yaitu di setiap 311 jam. Sedangkan untuk komponen – komponen *repairable* seperti *Battery fuel line assy*, *oil pump* dan *connector plug* yaitu pada 373 jam. Didapatkan nilai *RPN* berturut-turut dari yang tertinggi terdapat pada tiga komponen yaitu *Oil filter* dengan nilai *RPN* sebesar 405, *Potensiometer* dengan *RPN* sebesar 340, dan *Battery* dengan *RPN* sebesar 168. Dengan diketahui waktu terbaik melakukan *maintenance* diharapkan kerusakan dapat diprediksi sebelum terjadi *breakdown* sedangkan untuk mengurangi waktu *downtime* dengan diketahui nilai *RPN* tertinggi terdapat pada ketiga komponen *Oil filter*, *Potensiometer* dan *Battery* maka perusahaan dapat mempersiapkan terlebih dahulu komponen-komponen tersebut sebagai *spare part* agar waktu *downtime* dapat di minimalisir sehingga kinerja GPU untuk menunjang kegiatan perawatan pesawat udara dapat optimal.

Saran bagi penelitian selanjutnya dalam penentuan aktifitas jadwal perawatan untuk mencegah kegagalan suatu mesin dengan metode MFEA dapat digabung dengan metode lain yang lebih banyak untuk mendapatkan hasil yang akurat dan lebih komprehensif.



## Daftar Pustaka

- [1] H. A. P. L. Hestuningrum and E. Ahyudanari, "Jurnal Perhubungan Udara Manajemen Kendaraan Ground Handling di Terminal 1 Bandara Internasional Ground Handling Vehicle Management at International Juanda Airport Terminal 1," vol. 9066, pp. 99–106, 2019.
- [2] Y. T. P. Ferry Setiawan<sup>1\*</sup>, Dhimas Wicaksono<sup>2</sup>, "Perencanaan Jadwal dan Aktivitas Pemeliharaan Auxiliary Power Unit (APU) Pesawat Boeing 737-500 Dengan Metode Reliability," *Pros. Semin. Nas. Sains Teknol. dan Inov. Indones. p-ISSN 2086-5805 Akad. Angkatan Udar.*, vol. 3, no. November, pp. 24–25, 2021, doi: 10.54706/senastindo.v3.2021.130.
- [3] I. PRAESITA, J. Alhilman, and N. Nopendri, "Penilaian Kinerja Berbasis Reliability Pada Continuous Casting Machine 3 (CCM 3) Pt Krakatau Steel (Persero) Tbk Menggunakan Metode Reliability Availability Maintainability dan Cost of Unreliability," *J. Rekayasa Sist. Ind.*, vol. 3, no. 04, p. 1, 2016, doi: 10.25124/jrsi.v3i04.271.
- [4] B. Çekyay and S. Özekici, "Reliability, MTTF and steady-state availability analysis of systems with exponential lifetimes," *Appl. Math. Model.*, vol. 39, no. 1, pp. 284–296, 2015, doi: 10.1016/j.apm.2014.05.029.
- [5] N. B. Puspitasari and A. Martanto, "PENGUNAAN FMEA DALAM MENGIDENTIFIKASI RESIKO KEGAGALAN PROSES PRODUKSI SARUNG ATM (ALAT TENUN MESIN) (STUDI KASUS PT. ASAPUTEX JAYA TEGAL)," *J@TI UNDIP J. Tek. Ind.*, vol. 9, no. 2, pp. 93–98, 2014, doi: 10.12777/jati.9.2.93-98.
- [6] I. S. Muthalib, M. Rusman, and G. L. Griseldis, "Overall Equipment Effectiveness (OEE) analysis and Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) on Packer Machines for minimizing the Six Big Losses-A cement industry case," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 885, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/885/1/012061.
- [7] C. Spreafico, D. Russo, and C. Rizzi, "A state-of-the-art review of FMEA/FMECA including patents," *Comput. Sci. Rev.*, vol. 25, pp. 19–28, 2017, doi: 10.1016/j.cosrev.2017.05.002.
- [8] S. M. Sulaman, A. Beer, M. Felderer, and M. Höst, "Comparison of the FMEA and STPA safety analysis methods—a case study," *Softw. Qual. J.*, vol. 27, no. 1, pp. 349–387, 2019, doi: 10.1007/s11219-017-9396-0.
- [9] C. S. Bangun, A. Jalil, D. Amperajaya, and R. Rasjidin, "Preventive Maintenance Scheduling with Age Replacement Method at CNG Station," *APTISI Trans. Technopreneursh.*, vol. 4, no. 2, pp. 153–163, 2022, doi: 10.34306/att.v4i2.260.
- [10] H. D. W. Shinta, R. Yanti, and Qurtubi, "Analisis Perawatan Mesin dengan Metode Reliability Centered Maintenance(RCM) terhadap Mesin Air Jet Loom(AJL)," 2021. [Online]. Available: <https://idec.ft.uns.ac.id/wp-content/uploads/IDEC2021/PROSIDING/LSP/ID004.pdf>
- [11] A. W. Daseno, A. Komari, and H. B. Santoso, "Perencanaan Pengelolaan Limbah Kaca Grafir Menjadi Produk Inovasi Baru Guna Menambah Pendapatan Perusahaan (Studi Kasus Pada UD. Pelangi Art Glass)," *JURMATIS (Jurnal Manaj. Teknol. dan Tek. Ind.*, vol. 3, no. 1, p. 24, 2021, doi: 10.30737/jurmatis.v3i1.1403.

- [12] I. S. Wawan Setiawan, Noveicalistus H Djanggu, “PENENTUAN FREKUENSI PERAWATAN TERMURAH PADA MESIN KRITIS DI PT CITRA MAHKOTA Wawan,” *Integr. Ind. Eng. Manag. Syst.*, vol. 6, no. 1, pp. 25–37, 2022.
- [13] N. F. Fatma, H. Ponda, and R. A. Kuswara, “Analisis Preventive Maintenance Dengan Metode Menghitung Mean Time Between Failure (Mtbf) Dan Mean Time To Repair (Mtrr) (Studi Kasus Pt. Gajah Tunggal Tbk),” *Heuristic*, vol. 17, no. 2, pp. 87–94, 2020, doi: 10.30996/heuristic.v17i2.4648.
- [14] P. Alavian, Y. Eun, K. Liu, S. M. Meerkov, and L. Zhang, “ScienceDirect Evaluation MTTR : \* Induced Effect on Machine Efficiency,” *IFAC Pap.*, vol. 52, no. 13, pp. 1004–1009, 2019, [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.326>
- [15] A. H. Maryono, “Application of preventive maintenance methods on boilers at PT XYZ,” *Turkish J. Comput. Math. Educ.*, vol. 12, no. 14, pp. 5528–5543, 2021.
- [16] J. T. Industri, “PERBAIKAN KUALITAS PRODUK KERATON LUXURY DI PT. X DENGAN MENGGUNAKAN METODE FAILURE MODE and EFFECT ANALYSIS (FMEA) dan FAULT TREE ANALYSIS (FTA) \* RICHMA YULINDA HANIF, HENDANG SETYO RUKMI, SUSY SUSANTY,” *J. Online Inst. Teknol. Nas. Juli*, 2015.
- [17] B. A. Nainggolan and L. M. C. Wulandari, “Analisis Risiko Operasional Menggunakan Metode FMEA di CV. Gamarends Marine Supply Surabaya,” *Pros. Semin. Nas. Ris. dan Teknol. Terap. 2021*, no. 2020, pp. 1–13, 2021, [Online]. Available: <https://journal.unpar.ac.id/index.php/ritektra/article/view/4988>
- [18] A. Basuki and I. Chusnayaini, “Identifikasi Resiko Kegagalan Proses Penyebab Terjadinya Cacat Produk dengan Metode FMEA-SAW,” *Matrik*, vol. 22, no. 1, p. 37, 2021, doi: 10.30587/matrik.v22i1.1967.
- [19] B. J. C. Adek Suherman<sup>1</sup>, “Pengendalian Kualitas Dengan Metode Failure Mode Effect And Analysis (FMEA) Dan Pendekatan Kaizen untuk Mengurangi Jumlah Kecacatan dan Penyebabnya Adek,” 2019.
- [20] P. I. D, *SISTEM DAN MANAJEMEN PEMELIHARAAN*. YOGYAKARTA: DEEPUBLISH, 2019.
- [21] R. N. Afifah, M. Yustiana Lubis, and Y. Nugrahaini Safrudin, “Perancangan Autolamp pada Mesin Cutting untuk Meminimasi Produk Cacat Menggunakan Metode QFD di CV. XYZ,” *JATI UNIK J. Ilm. Tek. dan Manaj. Ind.*, vol. 6, no. 2, pp. 1–13, 2023, doi: 10.30737/jatiunik.v6i2.3315.
- [22] H. W. Lo, J. J. H. Liou, C. N. Huang, and Y. C. Chuang, “A novel failure mode and effect analysis model for machine tool risk analysis,” *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, vol. 183, pp. 173–183, 2019, doi: 10.1016/j.ress.2018.11.018.
- [23] A. Z. Muttaqin and Y. A. Kusuma, “Analisis Failure Mode And Effect Analysis Proyek X Di Kota Madiun,” *JATI UNIK J. Ilm. Tek. dan Manaj. Ind.*, vol. 1, no. 2, pp. 81–96, 2018, doi: 10.30737/jatiunik.v1i2.118.
- [24] M. A. Z. Ramadhan and T. Sukmono, “Penentuan Interval Waktu Preventive Maintenance Pada Nail Making Machine Dengan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) II,” *PROZIMA (Productivity, Optim. Manuf. Syst. Eng.)*, vol. 2, no. 2, pp. 49–57, 2018, doi: 10.21070/prozima.v2i2.1349.

[25] N. M. Hidayatulloh and T. Sukmono, “Determination of Production Instrumentation Equipment Maintenance Intervals In the Paper Industry,” *PROZIMA (Productivity, Optim. Manuf. Syst. Eng.*, vol. 4, no. 1, pp. 23–31, 2021, doi: 10.21070/prozima.v4i1.1275.

[26] M. H. Aiman and M. Nuruddin, “Analisis Kecacatan Produk Pada Mesin Pemotongan Dengan Menggunakan Metode FMEA di UD. Abdi Rakyat,” *J. Tek. Ind.*, vol. 9, no. 2, pp. 578–587, 2023.

**Conflict of Interest Statement:**

*The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.*