



Tersedia secara online di <http://ojs.unik-kediri.ac.id/index.php/jatiunik/index>

JATI UNIK

Jurnal Ilmiah Teknik dan Manajemen Industri



Optimalisasi *Preventive Maintenance Ground Power Unit* pada Perawatan Pesawat Udara di PT. IAA AMO Menggunakan Metode FMEA

Sandi Kurniawan¹, Indah Apriliana Sari Wulandari*², Tedjo Sukmono³

kurniawan012789@gmail.com¹, indahapriliana@umsida.ac.id*², Tedjosukmono@umsida.ac.id³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Industri, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo

Informasi Artikel

Riwayat Artikel :

Received : 25 – Maret – 2024
Revised : 21 – Mei – 2024
Accepted : 5 – Agustus – 2024

Kata kunci :

FMEA, GPU, MTBF, MTTF,
Preventive maintenance

Untuk melakukan sitasi pada penelitian ini dengan format :

Sandi Kurniawan, Wulandari, I. A. S., & Sukmono, T. (2024). Optimalisasi Preventive maintenance Ground Power Unit pada Perawatan Pesawat Udara di PT. IAA AMO Menggunakan Metode FMEA. *JATI UNIK: Jurnal Ilmiah Teknik Dan Manajemen Industri*, 8(1), 1-11.

Abstract

High operational costs and downtime risks can affect industry efficiency making equipment maintenance optimization an urgent need. PT. IAA AMO, as a manufacturing industry in the field of aircraft maintenance, faces significant challenges with the low reliability of Ground Power Unit (GPU) engines which only reaches 86%. This has led to an increase in the company's operating costs. The purpose of this study is to optimize Preventive maintenance on the Ground Power Unit (GPU) in aircraft maintenance at PT. IAA AMO using the Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) method. The results show that the MTTF of the GPU is 311 hours, while the MTBF is 373 hours. To prevent sudden breakdowns, preventive maintenance is recommended every 311 hours for non-repairable components and 373 hours for repairable components. This research offers a more effective maintenance strategy to improve GPU reliability and lower operational costs. This research results in more effective maintenance planning, which not only minimizes downtime and operational costs, but also improves the overall reliability of the GPU machine. With the implementation of FMEA methods and the right preventive maintenance strategy, companies can anticipate breakdowns early, extend engine life, and ensure smooth operations in support of aircraft maintenance.

Abstrak

Tingginya biaya operasional dan risiko *downtime*, dapat mempengaruhi efisiensi industri yang menjadikan optimasi perawatan peralatan menjadi kebutuhan mendesak. PT. IAA AMO, sebagai industri manufaktur di bidang perawatan pesawat udara, menghadapi tantangan signifikan dengan rendahnya reliability mesin *ground power unit* (GPU) yang hanya mencapai 86%. Hal ini menyebabkan peningkatan biaya operasional perusahaan. Tujuan dari penelitian ini adalah mengoptimalkan *Preventive maintenance* pada Ground Power Unit (GPU) dalam perawatan pesawat udara di PT. IAA AMO dengan menggunakan

metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). Hasilnya menunjukkan bahwa MTTF GPU adalah 311 jam, sedangkan MTBF adalah 373 jam. Untuk mencegah *breakdown* mendadak, *Preventive maintenance* disarankan dilakukan setiap 311 jam untuk komponen *non-repairable* dan 373 jam untuk komponen *repairable*. Penelitian ini menawarkan strategi perawatan yang lebih efektif guna meningkatkan keandalan GPU dan menurunkan biaya operasional. Dari penelitian ini tercipta perencanaan perawatan yang lebih efektif, yang tidak hanya meminimalisir *downtime* dan biaya operasional, tetapi juga meningkatkan keandalan mesin GPU secara keseluruhan. Dengan penerapan metode FMEA dan strategi *Preventive maintenance* yang tepat, perusahaan dapat mengantisipasi kerusakan lebih awal, memperpanjang umur mesin, dan memastikan kelancaran operasional dalam mendukung perawatan pesawat udara.

1. Pendahuluan

Layanan udara memiliki peran yang semakin vital dalam mendukung mobilitas global, baik untuk transportasi penumpang maupun pengiriman barang. Dalam dunia yang bergerak cepat dan saling terhubung, layanan ini menjadi tulang punggung yang menghubungkan berbagai wilayah dengan efisien. Namun, tingginya ketergantungan pada layanan udara menjadikan perawatan yang tepat dan berkala menjadi semakin krusial untuk menjamin keselamatan dan keandalan operasional. Kegagalan dalam melakukan perawatan dapat menyebabkan gangguan serius, seperti penundaan penerbangan, kerusakan peralatan, hingga risiko keselamatan, yang berdampak langsung pada penumpang, barang, dan reputasi industri. Oleh karena itu, perawatan yang optimal bukan lagi pilihan, melainkan kebutuhan mendesak untuk menjaga keberlangsungan layanan udara yang aman dan efisien.

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

Agar perawatan pesawat efisien, diperlukan GPU yang andal. Mesin dianggap andal jika probabilitas keandalannya berada di kisaran 0-1, atau mampu berfungsi dengan baik dalam waktu tertentu dengan nilai mutu tetap yang mendekati atau mencapai 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 2023 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, dengan *reliability* 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]. Meskipun metode ini sudah berusia hampir 70 tahun, banyak peneliti dari akademi dan industri masih berupaya menyempurnakannya dan mengatasi masalah yang belum terpecahkan[7]. Penelitian sebelumnya menggunakan metode FMEA dan *Fault Tree Analysis* (FTA) untuk menentukan waktu perawatan APU, namun belum berhasil menemukan waktu optimal untuk perawatan terbaik APU[2][8]. Dengan menggabungkan FMEA dan perhitungan rata-rata komponen antara *Mean Time Between Failure* (MTBF) dan *Mean Time To Failure* (MTTF), rekomendasi waktu perawatan yang tepat dapat diperoleh sebelum GPU mengalami kerusakan[4][9].

Penelitian ini akan mengidentifikasi komponen-komponen dengan nilai *Risk Priority Number* (RPN) tertinggi serta menentukan waktu perawatan preventif yang optimal untuk komponen *non-repairable* dan *repairable*. Namun, penelitian sebelumnya belum secara spesifik membahas pengelolaan *spare parts* berdasarkan komponen dengan RPN tertinggi untuk mengurangi *downtime* secara efektif. Penelitian ini mengisi gap tersebut dengan memberikan solusi konkret berupa penjadwalan perawatan yang lebih akurat, serta penyediaan *spare parts* yang tepat berdasarkan RPN. Dengan mengetahui komponen mana yang paling berisiko menyebabkan kerusakan, perusahaan dapat mempersiapkan *spare parts* lebih awal, sehingga meminimalkan *downtime* dan memastikan kinerja GPU tetap optimal.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengoptimalkan *Preventive maintenance* pada Ground Power Unit (GPU) dalam perawatan pesawat udara di PT. IAA AMO dengan menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat membantu perusahaan mengurangi *downtime* melalui persiapan *spare parts* yang tepat, sehingga kinerja GPU dapat lebih optimal dalam menunjang perawatan pesawat udara.

2. Metode Penelitian

2.1 Desain penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif yang mana jenis penelitian ini mendeskripsikan kondisi *Preventive maintenance* pada GPU di PT. IAA AMO dan mengidentifikasi potensi kegagalan serta dampaknya melalui FMEA[10][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 FMEA, dimana 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].

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

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].

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

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].

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]:

$$RPN = Severity * Occurency * Detection \quad (3)$$

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

Menurut teknisi mesin GPU menyatakan lamanya *downtime* tergantung dari lamanya proses *troubleshooting*, akses komponen saat melakukan penggantian, dan ketersediaan

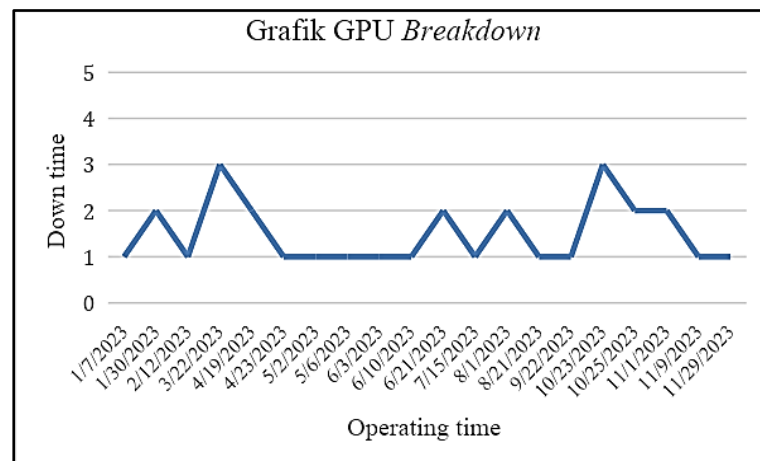
spare part. Semakin mudah *spare part* tersedia maka semakin cepat waktu untuk melakukan perbaikan.

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

(Sumber: PT. IAA AMO, 2023)

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
 (Sumber : PT. IAA AMO, 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:

$$\begin{aligned}
 MTTF &= \theta = \frac{\text{Total operation Time}}{\text{Frekuensi Breakdown}} \\
 &= \frac{3730,33}{12} \\
 &= 310,86 \text{ dibulatkan } 311 \text{ Hours}
 \end{aligned}
 \qquad
 \begin{aligned}
 MTBF &= \frac{\text{Total operation Time}}{\text{Frekuensi Breakdown}} \\
 &= \frac{2979,35}{8} \\
 &= 372,42 \text{ dibulatkan } 373 \text{ Hours}
 \end{aligned}$$

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

Selanjutnya penentuan *Risk Priority Number* (RPN) akan menggunakan metode *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) yang bertujuan untuk mengidentifikasi dan memprioritaskan potensi kegagalan pada suatu sistem atau komponen. FMEA bekerja dengan menganalisis setiap mode kegagalan, dampak yang ditimbulkannya, serta penyebabnya. Nilai RPN dihitung dengan mengalikan tiga faktor utama yaitu *severity* (S), yang mengukur tingkat keparahan dampak dari kegagalan, *occurrence* (O), yang menunjukkan seberapa sering kegagalan tersebut terjadi dan *detection* (D), yang menilai seberapa mudah kegagalan dapat dideteksi sebelum menyebabkan kerusakan. Dengan menghitung RPN, dapat diketahui area atau komponen yang memiliki risiko kegagalan paling tinggi, sehingga dapat difokuskan perbaikan dan tindakan pencegahan lebih lanjut. Komponen dengan RPN tertinggi diprioritaskan untuk segera ditangani, karena memiliki potensi paling besar untuk menyebabkan gangguan serius atau kerusakan. Masing-masing hasil komponen dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 2. Perhitungan hasil FMEA

FMEA Worksheet		Sistem Mesin GPU							
		Subsistem Mesin Penggerak							
Part/procs	Function	Potential Failure Mode	Potential Effect Of Failure	Sev (1-10)	Potential Cause Of Failure	Occ (1-10)	Current Controls	Det (1-10)	RPN
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>									340
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>									405

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	168
---------	------------------------------	---------------------	--------------	---	---	---	------------------------------------	---	-----

(Sumber : Olah data, 2023)

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 di minimalisir dengan mengetahui komponen serta waktu terbaik untuk melakukan perawatan pada komponen-komponen yang kritis.

4. Kesimpulan

Preventive maintenance pada Ground Power Unit (GPU) dapat dioptimalkan dengan fokus pada komponen *non-repairable* seperti oil filter, potensiometer, dan battery yang memiliki nilai *Risk Priority Number* (RPN) tertinggi, masing-masing sebesar 405, 340, dan 168. Dengan melakukan perawatan preventif pada komponen-komponen tersebut pada waktu yang tepat (311 jam untuk komponen *non-repairable* dan 373 jam untuk komponen *repairable*), potensi *breakdown* dapat dicegah dan *downtime* diminimalkan. Perusahaan dapat meminimalkan *downtime* dan mengoptimalkan kinerja GPU dalam menunjang perawatan pesawat dengan lebih efektif, melalui persiapan *spare part* yang tepat untuk komponen yang paling berisiko.

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^{1*}, Dhimas Wicaksono², “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. Rasjedin, “*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 Djunggu, “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 Suherman¹, “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.