

---

# Academia Open



*By Universitas Muhammadiyah Sidoarjo*

---

# Academia Open

Vol. 11 No. 1 (2026): June  
DOI: 10.21070/acopen.11.2026.14387

## Table Of Contents

<b>Journal Cover</b> .....	1
<b>Author[s] Statement</b> .....	3
<b>Editorial Team</b> .....	4
<b>Article information</b> .....	5
Check this article update (crossmark) .....	5
Check this article impact .....	5
Cite this article.....	5
<b>Title page</b> .....	6
Article Title .....	6
Author information .....	6
Abstract .....	6
<b>Article content</b> .....	7

## Originality Statement

The author[s] declare that this article is their own work and to the best of their knowledge it contains no materials previously published or written by another person, or substantial proportions of material which have been accepted for the published of any other published materials, except where due acknowledgement is made in the article. Any contribution made to the research by others, with whom author[s] have work, is explicitly acknowledged in the article.

## Conflict of Interest Statement

The author[s] declare that this article was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

## Copyright Statement

Copyright © Author(s). This article is published under the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) licence. Anyone may reproduce, distribute, translate and create derivative works of this article (for both commercial and non-commercial purposes), subject to full attribution to the original publication and authors. The full terms of this licence may be seen at <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode>

# Academia Open

Vol. 11 No. 1 (2026): June  
DOI: 10.21070/acopen.11.2026.14387

## EDITORIAL TEAM

### Editor in Chief

Mochammad Tanzil Multazam, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

### Managing Editor

Bobur Sobirov, Samarkand Institute of Economics and Service, Uzbekistan

### Editors

Fika Megawati, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Mahardika Darmawan Kusuma Wardana, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Wiwit Wahyu Wijayanti, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Farkhod Abdurakhmonov, Silk Road International Tourism University, Uzbekistan

Dr. Hindarto, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Evi Rinata, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

M Faisal Amir, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Dr. Hana Catur Wahyuni, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Complete list of editorial team ([link](#))

Complete list of indexing services for this journal ([link](#))

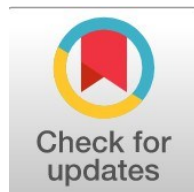
How to submit to this journal ([link](#))

# Academia Open

Vol. 11 No. 1 (2026): June  
DOI: 10.21070/acopen.11.2026.14387

## Article information

**Check this article update (crossmark)**



**Check this article impact (\*)**



**Save this article to Mendeley**



(\*) Time for indexing process is various, depends on indexing database platform

## Optimal RCM II Scheduling for Critical GMAW Welding Components

**Alief Ahmad Kamaluddin, 22032010146@student.upnjatim.ac.id (\*)**

*Program Studi Teknik Industri, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Indonesia*

**Joumil Aidil Saifuddin, joumilaidil.ti@upnjatim.ac.id**

*Program Studi Teknik Industri, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Indonesia*

(\*) Corresponding author

### Abstract

**General Background** Production continuity in manufacturing depends on reliable machinery and planned maintenance that can prevent unplanned breakdowns, operational losses, and production delays. **Specific Background** A railway manufacturing company relies on Gas Metal Arc Welding XD350S machines in carbody fabrication, yet one unit recorded 30 failures and 4,550 minutes of downtime in 2025, representing 77% of total welding machine downtime. **Knowledge Gap** The existing three-month preventive maintenance policy has not sufficiently reflected actual component reliability, failure characteristics, and operating intensity. **Aims** This study identifies critical components, failure modes, maintenance policies, and optimal maintenance intervals using Reliability Centered Maintenance II. **Results** FMEA and Pareto analysis identified four critical components: Wire Feeder, Welding Control PCB, Feed Roller, and Inner Liner. Wire Feeder had the highest downtime contribution of 32.25% and RPN of 392, followed by Welding Control PCB with 29.09% downtime and RPN of 384. Weibull testing confirmed wear-out failure patterns for all critical components. The proposed intervals were 2,115.05 hours for Wire Feeder, 3,900.67 hours for Welding Control PCB, 1,598.39 hours for Feed Roller, and 1,975.42 hours for Inner Liner. **Novelty** This study integrates FMEA, Weibull-based reliability analysis, cost-based interval calculation, and RCM II Decision Worksheet for GMAW maintenance planning. **Implications** The proposed schedule provides targeted maintenance tasks to minimize unplanned downtime and strengthen machine reliability in welding production operations.

### Highlights:

- Wire Feeder recorded the largest downtime share and highest RPN.
- All critical parts followed Weibull wear-out failure patterns.
- Recommended task types included scheduled discard, restoration, and condition monitoring.

**Keywords:** Reliability Centered Maintenance II, Preventive Maintenance, FMEA, GMAW, OPTIMAL Maintenance INTERVAL

Published date: 2026-06-07

## Pendahuluan

Kesinambungan proses produksi dalam dunia industri manufaktur sangat bergantung pada kondisi mesin dan peralatan yang digunakan. Ketika mesin mengalami kerusakan di luar jadwal, dampaknya tidak hanya menyebabkan terhentinya lini produksi, tetapi juga berpotensi menimbulkan kerugian finansial akibat target produksi yang tidak tercapai serta penurunan kapasitas layanan kepada pelanggan [1]. Oleh sebab itu, kegiatan perawatan (maintenance) menjadi salah satu prioritas strategis yang tidak boleh diabaikan [2]. Pemeliharaan yang terencana dengan baik tidak hanya mampu menekan frekuensi kerusakan mendadak, tetapi juga berkontribusi pada efisiensi biaya operasional, perpanjangan umur ekonomis aset, dan terjaganya kelancaran target produksi [3].

Kondisi tersebut juga dialami oleh PT K atau PT I, Badan Usaha Milik Negara yang memproduksi sarana perkeretaapian secara terintegrasi. Dalam alur fabrikasi struktur bodi kereta api (carbody), proses penyambungan material melalui pengelasan (welding) merupakan tahap yang paling menentukan, karena kualitas dan laju prosesnya secara langsung memengaruhi kecepatan seluruh lini produksi. Saat ini, PT I menerapkan kebijakan preventive maintenance yang dijadwalkan secara berkala setiap tiga bulan sekali, dikombinasikan dengan corrective maintenance ketika kerusakan sudah terlanjur terjadi [1]. Namun demikian, implementasi pemeliharaan berbasis waktu (time-based maintenance) ini dinilai belum efektif, sebagaimana dibuktikan oleh masih tingginya angka breakdown tak terencana, khususnya pada mesin Gas Metal Arc Welding (GMAW) seri XD350S. Mesin tersebut mencatatkan tingkat utilisasi tertinggi di antara seluruh unit las yang beroperasi, yaitu mencapai 36% dengan rata-rata 45 jam operasi per minggu. Selama periode satu tahun pengamatan, tercatat 30 kejadian kerusakan dengan total downtime sebesar 4.550 menit, atau setara dengan 77% dari total keseluruhan downtime semua mesin pengelasan yang ada [1]. Komponen-komponen yang menjadi sumber kerusakan berulang meliputi Wire Feeder, Inner Liner, Feed Roller, dan Welding Control PCB—sebuah pola yang mengindikasikan bahwa mesin beroperasi dalam kondisi heavy duty dengan beban kerja yang jauh melampaui asumsi interval perawatan tiga bulanan yang selama ini diterapkan [4].

Permasalahan di atas menegaskan kebutuhan akan metode evaluasi pemeliharaan yang lebih adaptif, tidak sekadar mengacu pada rentang waktu tetap, melainkan berpijak pada keandalan dan fungsi aktual setiap komponen sistem. Preventive maintenance yang efektif seharusnya didasarkan pada data keandalan (reliability) komponen dan distribusi waktu kegagalan yang terukur, sehingga jadwal perawatan yang dihasilkan benar-benar mencerminkan kondisi operasional nyata mesin [5]. Dalam konteks inilah, metode Reliability Centered Maintenance II (RCM II) menjadi relevan. RCM II merupakan pendekatan terstruktur yang secara sistematis mengidentifikasi fungsi aset, kegagalan fungsional (functional failure), penyebab kegagalan (failure mode), serta konsekuensinya, untuk kemudian menentukan jenis tindakan perawatan yang paling tepat—apakah berupa scheduled on-condition task, scheduled restoration task, ataukah scheduled discard task [4] dan juga RCM II merupakan suatu teknik yang dipakai untuk mengembangkan preventive maintenance yang terjadwal [6]. Metode ini memadukan analisis kualitatif melalui decision worksheet dengan analisis kuantitatif berbasis distribusi data historis waktu antar kerusakan, sehingga interval perawatan yang direkomendasikan bersifat optimal secara teknis maupun ekonomis [3]. Dengan demikian, penelitian ini dilaksanakan untuk merumuskan usulan penjadwalan preventive maintenance pada mesin GMAW XD350S menggunakan pendekatan RCM II, dengan harapan dihasilkan rekomendasi interval waktu yang optimal dan maintenance task yang tepat sasaran untuk setiap komponen kritis, guna meminimalkan downtime tak terencana dan menjaga kelancaran produksi di PT I [7].

## Metode

Metode penelitian yang digunakan terdiri dari beberapa tahap, diawali dengan tahap pengumpulan data melalui kegiatan studi lapangan yang mencakup observasi, penyebaran kuesioner, dan wawancara. Komunikasi dan wawancara dilakukan secara langsung dengan Manajer Divisi *Maintenance* serta teknisi mekanik untuk menggali informasi terkait riwayat operasional, penyebab kegagalan, dan efek kerusakan pada mesin di lantai produksi. Data historis yang dikumpulkan dalam penelitian ini berfokus pada rekam jejak operasional mesin selama periode bulan Januari 2025 hingga Desember 2025. Data primer yang dihimpun meliputi data waktu antar kerusakan (*Time to Failure*), lamanya waktu perbaikan (*Time to Repair*), total waktu henti (*downtime*) mesin, serta identifikasi komponen kritis. Sementara itu, data pendukung mencakup harga komponen substitusi dan biaya tenaga kerja mekanik. Seluruh data tersebut kemudian diolah secara komprehensif menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dan *Reliability Centered Maintenance II* (RCM II). Tujuan dari tahapan ini adalah untuk mengidentifikasi mode kegagalan komponen, menentukan interval waktu perawatan kuantitatif yang paling optimal, serta merumuskan rekomendasi kebijakan perawatan (*Maintenance task*) yang spesifik melalui *RCM II Decision Worksheet* pada mesin las *Welding* GMAW XD350S. Gambar 1 berikut merupakan *flowchart* yang menggambarkan alur dari penelitian ini.

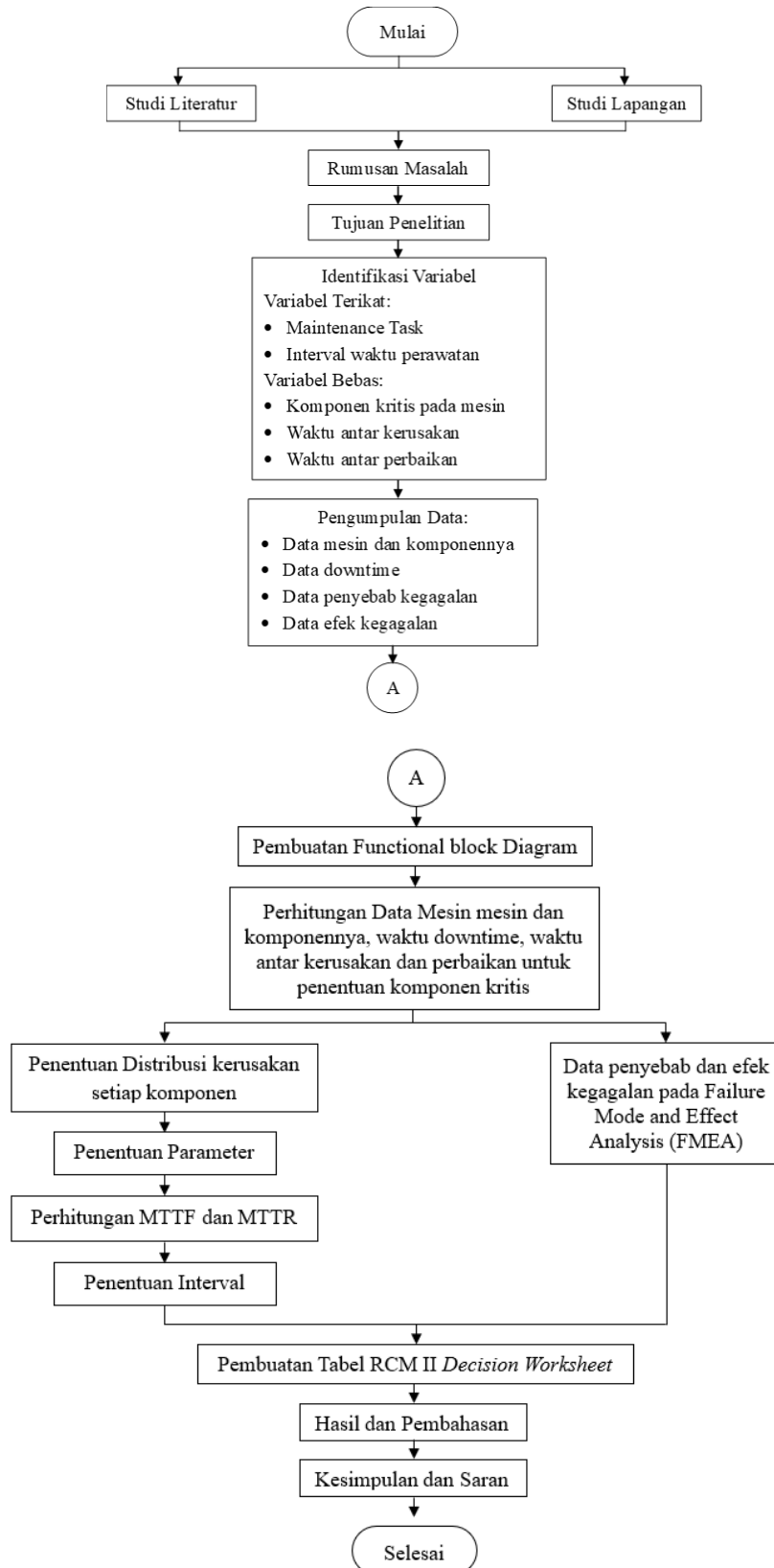


Figure 1. Flowchart

Penelitian ini dirancang melalui pendekatan kuantitatif berbasis data historis kerusakan mesin. Berdasarkan gambar 1, Tahap awal dimulai dengan studi literatur dan studi lapangan secara paralel. Studi literatur bertujuan membangun landasan teori yang relevan, sementara studi lapangan dilaksanakan melalui observasi langsung dan wawancara dengan teknisi divisi perawatan untuk memperoleh gambaran permasalahan aktual di rantai produksi [3]. Kedua aktivitas tersebut menjadi dasar dalam merumuskan permasalahan penelitian sekaligus menetapkan tujuan yang hendak dicapai.

Selanjutnya dilakukan identifikasi variabel penelitian yang meliputi variabel terikat berupa Maintenance task dan interval waktu perawatan optimal, serta variabel bebas berupa komponen kritis, waktu antar kerusakan, dan waktu antar perbaikan. Penetapan variabel ini penting dilakukan agar arah pengumpulan dan pengolahan data menjadi lebih terstruktur [5]. Data yang dikumpulkan mencakup data mesin dan komponennya, data downtime, serta data penyebab dan efek kegagalan yang diperoleh melalui rekam historis perusahaan dan kuesioner FMEA kepada tenaga ahli.

Pengolahan data diawali dengan pembuatan Functional Block Diagram (FBD) untuk menggambarkan keterkaitan antar komponen dalam sistem secara visual, sehingga aliran fungsi dan potensi kegagalan dapat diidentifikasi dengan lebih sistematis [8]. Berdasarkan data downtime yang telah dikumpulkan, dilakukan penghitungan persentase downtime kumulatif yang divisualisasikan dalam Diagram Pareto untuk menentukan komponen kritis prioritas [4].

Secara paralel, data penyebab dan efek kegagalan dianalisis menggunakan metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) dengan menghitung nilai Risk Priority Number (RPN) yang merupakan hasil perkalian dari nilai Severity, Occurrence, dan Detection pada tiap mode kegagalan [9]. Komponen dengan nilai RPN tertinggi menjadi prioritas utama dalam penentuan strategi perawatan.

Pada jalur kuantitatif, data waktu antar kerusakan (TTF) dan waktu perbaikan (TTR) masing-masing komponen diuji distribusinya menggunakan software Minitab dengan metode Anderson-Darling untuk menentukan distribusi yang paling sesuai [5]. Setelah distribusi terpilih, dilakukan penentuan parameter shape ( $\beta$ ) dan scale ( $\eta$ ) yang selanjutnya digunakan untuk menghitung nilai Mean Time to Failure (MTTF) dan Mean Time to Repair (MTTR) sebagai representasi rata-rata waktu antar kegagalan dan waktu perbaikan komponen [10]. Interval perawatan optimal (TM) kemudian dihitung dengan mempertimbangkan biaya penggantian karena perawatan (CM) dan biaya penggantian karena kerusakan (CF) menggunakan model biaya perawatan berbasis distribusi Weibull.

Seluruh hasil analisis, baik kualitatif dari FMEA maupun kuantitatif dari perhitungan interval perawatan, diintegrasikan dalam penyusunan RCM II Decision Worksheet. Tabel keputusan ini mengacu pada Diagram keputusan RCM II yang mengevaluasi konsekuensi kegagalan berdasarkan empat kategori yaitu hidden failure (H), safety (S), environmental (E), dan operational (O), untuk menghasilkan rekomendasi jenis Maintenance task yang paling tepat bagi setiap mode kegagalan, baik berupa scheduled on-condition task, scheduled restoration task, maupun scheduled discard task [11]. Seluruh hasil analisis, baik kualitatif dari FMEA maupun kuantitatif dari perhitungan interval perawatan, diintegrasikan dalam penyusunan RCM II Decision Worksheet. Tabel keputusan ini mengacu pada Diagram keputusan RCM II yang mengevaluasi konsekuensi kegagalan berdasarkan empat kategori yaitu hidden failure (H), safety (S), environmental (E), dan operational (O), untuk menghasilkan rekomendasi jenis Maintenance task yang paling tepat bagi setiap mode kegagalan, baik berupa scheduled on-condition task, scheduled restoration task, maupun scheduled discard task [12].

## Hasil dan Pembahasan

### A. Functional Block Diagram (FBD)

*Functional Block Diagram* (FBD) merupakan representasi visual yang menggambarkan hubungan fungsional antar komponen dalam suatu sistem. Dalam kerangka analisis *Reliability Centered Maintenance* II (RCM II), penyusunan FBD menjadi langkah awal yang fundamental sebelum dilakukan identifikasi kegagalan lebih lanjut [13]. FBD membantu tim Maintenance untuk memahami secara sistematis bagaimana setiap komponen berkontribusi terhadap fungsi sistem secara keseluruhan, sehingga apabila salah satu komponen mengalami kegagalan, dampaknya terhadap sistem dapat ditelusuri dengan tepat [4].

Gambar 2 berikut menggambarkan hubungan fungsional antar subsistem pada mesin las *Gas Metal Arc Welding* (GMAW) XD350S, meliputi aliran sinyal kendali, arus listrik, material kawat las, dan gas pelindung.

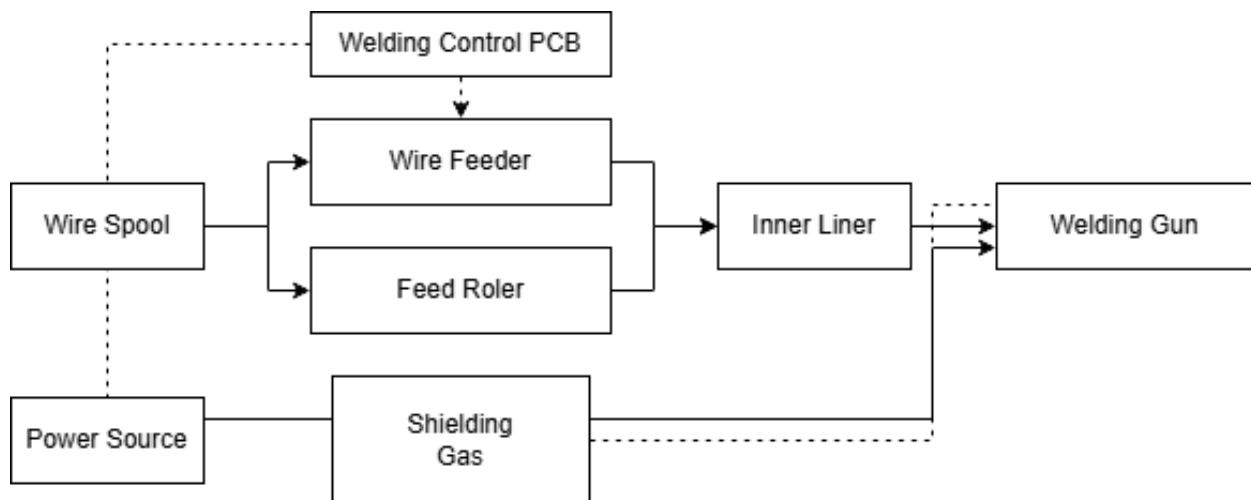


Figure 2. Functional Block Diagram Mesin Welding GMAW XD350S

Berdasarkan Gambar 2, sistem mesin las GMAW XD350S terdiri atas empat subsistem utama yang saling terintegrasi:

1. *Welding Control PCB* berperan sebagai pengendali utama yang mengatur seluruh parameter pengelasan. Modul ini mengirimkan sinyal tegangan ke *Power source* sekaligus sinyal kecepatan motor ke *Wire Feeder* untuk mengontrol laju kawat las. Stabilitas sinyal dari PCB sangat berpengaruh terhadap keseragaman proses pengelasan.
2. *Wire Feeder* berfungsi menarik kawat las dari spool menggunakan motor listrik. Komponen ini mengintegrasikan mekanisme solenoid valve untuk mengatur aliran gas pelindung (shielding gas) serta motor penggerak yang memutar drive roll.
3. *Feed Roller* memberikan gaya gesek untuk mendorong kawat las secara kontinu ke dalam *Inner Liner*. Kondisi groove pada roller sangat menentukan konsistensi kecepatan kawat selama pengelasan berlangsung.
4. *Inner Liner* berfungsi sebagai jalur penghantar (pemandu) kawat las dari *Wire Feeder* menuju *Welding gun*. Kondisi liner yang bersih dan tidak tertekuk sangat menentukan kelancaran aliran kawat selama proses pengelasan.

Secara keseluruhan, kinerja optimal sistem sangat bergantung pada keselarasan antara keempat subsistem tersebut. Ketidakseimbangan pada salah satu komponen dapat memicu kegagalan fungsional yang berdampak pada keseluruhan lini produksi mesin GMAW XD350S di PT I

## B. Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

*Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* merupakan metode sistematis untuk mengidentifikasi potensi kegagalan suatu sistem beserta efek yang ditimbulkannya. Dalam konteks RCM II, FMEA digunakan untuk menentukan fungsi (function), kegagalan fungsional (*Functional failure*), mode kegagalan (*failure mode*), dan efek kegagalan (*failure effect*) pada setiap komponen kritis [14]. Output utama FMEA adalah nilai Risk Priority Number (RPN) yang dihitung berdasarkan perkalian tiga faktor: Severity (S), Occurrence (O), dan Detection (D), dengan formula

$$RPN = S \times O \times D [5] \quad (1)$$

Sebelum menentukan nilai RPN, dilakukan kontekstualisasi kriteria penilaian S, O, dan D yang disesuaikan dengan karakteristik operasional mesin GMAW XD350S. Penyesuaian ini dilakukan untuk menjamin validitas penilaian yang mencerminkan risiko kegagalan aktual di lingkungan manufaktur perkeretaapian. Hasil analisis FMEA disajikan pada Tabel 1 berikut.

**Tabel 1.** *Failure Mode and Effect Analysis* Mesin *Welding GMAW XD350S*

Komponen	Function	Functional Failure	Failure Mode (Cause)	Failure Effect	S	O	D	RPN
<b>Wire Feeder</b>	Mengatur aliran shielding gas dari tabung menuju <i>Welding torch</i> dengan tekanan dan debit yang sesuai	Solenoid valve mengalami kehilangan gas (los gas)	Seal mengalami aus akibat pemakaian jangka panjang	Motor penggerak mati total; gas pelindung terbuang terus-menerus → weld defect	8	7	7	<b>392</b>
	Memberikan tenaga mekanik untuk mendorong kawat las (wire electrode) secara kontinu menuju <i>Welding torch</i>	Motor mengalami korsleting pada kumparan stator/rotornya	Penumpukan debu logam dan isolasi kabel yang terkelupas	Motor penggerak berhenti berfungsi total → proses pengelasan terhenti	8	7	7	<b>392</b>
<b>Inner Liner</b>	Menjadi jalur lintasan pemandu kawat las menuju contact tip agar kawat meluncur lancar	Liner tersumbat, tertekuk, atau putus	Tumpukan debu/serpihan besi dan posisi kabel las ditekuk terlalu tajam	Kualitas las tidak optimal → pengelasan gagal total	8	7	5	<b>280</b>
<b>Feed Roller</b>	Menjepit kawat las dan memberikan traksi dorongan ke dalam <i>Inner Liner</i>	Permukaan alur (groove) mengalami keausan	Faktor usia pemakaian (gesekan terus-menerus dengan kawat)	Slippage kawat → Ampere berfluktuasi ekstrem saat pengelasan	7	7	4	<b>196</b>
<b>Welding Control PCB</b>	Saklar elektromagnetik yang menghubungkan/memutus aliran daya menuju motor <i>Wire Feeder</i>	Relay gagal menghantarkan arus menuju motor	Penumpukan debu konduktif dan loncatan serpihan bunga api terus-menerus	Malfungsi mesin <i>Welding</i> → mati total mendadak	8	6	8	<b>384</b>
	Mengatur besaran arus	Resistor terbakar	Beban arus	Komponen	8	6	8	<b>384</b>

Komponen	Function	Functional Failure	Failure Mode (Cause)	Failure Effect	S	O	D	RPN
	listrik/menurunkan tegangan pada rangkaian elektronik PCB		berlebih dan korsleting akibat penumpukan debu	sensitif PCB kehilangan suplai tegangan yang sesuai				
	Menurunkan tegangan input utama (380V/220V) menjadi tegangan rendah (24V/42V) untuk mensuplai daya komponen kontrol	Korsleting pada transformator	Dampak korsleting pada dinamo kipas pendingin atau koil kontaktor utama	Seluruh sistem kontrol kehilangan suplai daya → sistem lumpuh	8	6	8	<b>384</b>

Berdasarkan Tabel 1, hasil analisis FMEA menunjukkan bahwa Wire Feeder memperoleh nilai RPN tertinggi sebesar 392, diikuti oleh *Welding Control PCB* dengan RPN 384, Inner Liner dengan RPN 280, dan Feed Roller dengan RPN 196. Tingginya nilai RPN pada Wire Feeder dan *Welding Control PCB* mengindikasikan bahwa kedua komponen tersebut memiliki tingkat risiko kegagalan paling kritis dan memerlukan prioritas penanganan perawatan paling utama [14]. Nilai Severity sebesar 8 pada Wire Feeder dan *Welding Control PCB* mencerminkan dampak kegagalan yang menyebabkan downtime mesin secara total, sedangkan nilai Detection yang tinggi (7-8) pada komponen yang sama mengindikasikan sulitnya pendeteksian dini sebelum terjadi kegagalan fungsi.

### C. Penentuan Komponen Kritis

Penentuan komponen kritis dilakukan berdasarkan data downtime aktual mesin GMAW XD350S selama periode Januari–Desember 2025. Metode yang digunakan adalah analisis *Diagram Pareto* berdasarkan persentase downtime kumulatif, di mana komponen dengan kontribusi downtime kumulatif hingga 80% diklasifikasikan sebagai komponen kritis. Perhitungan persentase downtime masing-masing komponen menggunakan formula berikut:

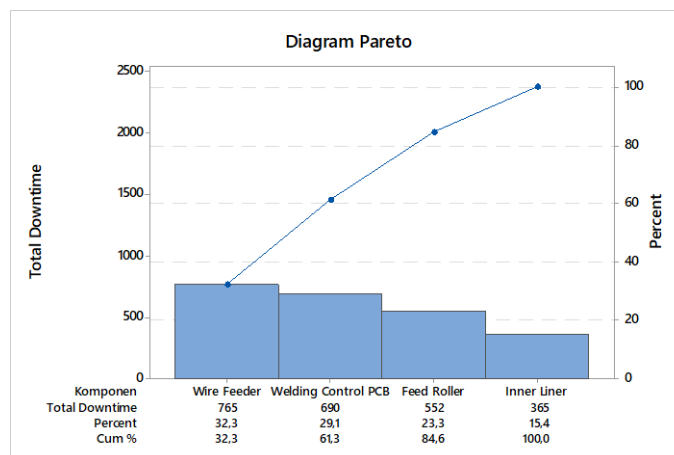
$$\% \text{ Downtime} = (\text{Downtime Komponen} / \text{Total Downtime}) \times 100\% \quad (2)$$

Hasil rekapitulasi persentase downtime dan downtime kumulatif setiap komponen disajikan pada Tabel 2 berikut:

**Tabel 2.** Urutan Komponen Kritis Berdasarkan Nilai *Downtime*

No	Nama Komponen	Total Downtime (Menit)	% Downtime	% Downtime Kumulatif
1	Wire Feeder	765	32,25%	32,25%
2	<i>Welding Control PCB</i>	690	29,09%	61,34%
3	Feed Roller	552	23,27%	84,61%
4	Inner Liner	365	15,39%	100,00%
	<b>Total</b>	<b>2.372</b>	<b>100,00%</b>	—

Visualisasi distribusi downtime antar komponen dalam bentuk *Diagram Pareto* disajikan pada Gambar 3 berikut.



**Figure 3.** *Diagram Pareto Downtime Mesin Welding GMAW XD350S*

Berdasarkan Tabel 2 dan Gambar 3, hasil analisis *Diagram Pareto* mengidentifikasi empat komponen yang seluruhnya ditetapkan sebagai komponen kritis. Wire Feeder mencatat downtime tertinggi sebesar 765 menit (32,25%), diikuti *Welding*

Control PCB sebesar 690 menit (29,09%), Feed Roller sebesar 552 menit (23,27%), dan Inner Liner sebesar 365 menit (15,39%). Secara kumulatif, Wire Feeder dan *Welding* Control PCB saja telah menyumbang 61,34% dari total downtime, sedangkan penambahan Feed Roller mengakibatkan akumulasi mencapai 84,61%, melampaui ambang batas 80% yang menjadi kriteria komponen kritis. Tingginya downtime pada keempat komponen ini mengkonfirmasi bahwa interval perawatan tiga bulanan yang berlaku saat ini tidak lagi relevan dengan frekuensi dan intensitas kerusakan aktual mesin.

## D. Penentuan Distribusi dan Parameter

### 1. Distribusi Waktu Antar Kerusakan (TTF)

Penentuan distribusi probabilitas waktu antar kerusakan (*Time to Failure*/TTF) dan waktu perbaikan (*Time to Repair*/TTR) dilakukan menggunakan software Minitab 18 melalui menu Distribution Analysis (Right Censoring). Uji kesesuaian distribusi (goodness of fit) menggunakan metode Anderson-Darling (AD), di mana distribusi dengan nilai AD terkecil dinyatakan paling sesuai dengan data aktual [5]. Kandidat distribusi yang diuji meliputi Weibull, Lognormal, dan Exponential. Hasil rekapitulasi pengujian distribusi TTF dan parameter yang diperoleh disajikan pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Hasil Pengujian Distribusi Waktu Antar Kerusakan (TTF)

No	Nama Komponen	Distribusi Terpilih	AD Value (adj)	$\beta$ (Shape)	$\eta$ (Scale)	Keterangan
1	Wire Feeder	Weibull	1,678	4,75	1113,47 jam	Wear-out failure ( $\beta > 1$ )
2	Inner Liner	Weibull	1,814	1,95	1081,95 jam	Wear-out failure ( $\beta > 1$ )
3	Feed Roller	Weibull	3,746	6,77	1132,63 jam	Wear-out failure ( $\beta > 1$ )
4	Welding Control PCB	Weibull	2,292	8,13	2541,76 jam	Wear-out failure ( $\beta > 1$ )

Berdasarkan Tabel 3, seluruh komponen kritis mesin GMAW XD350S mengikuti distribusi Weibull dua parameter. Nilai shape parameter ( $\beta$ ) yang lebih besar dari 1 pada semua komponen mengindikasikan pola kegagalan wear-out failure, yaitu laju kegagalan yang meningkat seiring bertambahnya usia operasi komponen [15]. Hal ini memperkuat kesimpulan bahwa strategi preventive *Maintenance* berbasis interval waktu sangat tepat diterapkan pada keempat komponen tersebut. Komponen Feed Roller dan *Welding* Control PCB memiliki nilai  $\beta$  tertinggi (6,77 dan 8,13) yang menunjukkan pola keausan paling deterministik dan konsisten, sehingga interval perawatannya dapat ditentukan dengan tingkat kepercayaan yang lebih tinggi.

### 2. Distribusi Waktu Lamanya Perbaikan (TTR)

Hasil rekapitulasi pengujian distribusi TTR dan parameter yang diperoleh disajikan pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Hasil Pengujian Distribusi Waktu Lamanya Perbaikan (TTR)

No	Nama Komponen	Distribusi Terpilih	AD Value (adj)	$\beta$ (Shape)	$\eta$ (Scale)	MTTR (Jam)
1	Wire Feeder	Weibull	1,672	4,27	93,43 menit	1,418 jam
2	Inner Liner	Weibull	1,614	2,54	51,56 menit	0,763 jam
3	Feed Roller	Weibull	3,003	18,60	71,01 menit	1,152 jam
4	Welding Control PCB	Weibull	1,748	54,37	174,51 menit	2,876 jam

## E. Perhitungan MTTF dan MTTR

Setelah diperoleh parameter distribusi Weibull untuk masing-masing komponen, dilakukan perhitungan Mean Time to Failure (MTTF) dan Mean Time to Repair (MTTR) menggunakan persamaan distribusi Weibull sebagai berikut [15]:

$$MTTF / MTTR = \eta \cdot \Gamma(1 + 1/\beta) \quad (3)$$

di mana  $\eta$  adalah scale parameter,  $\beta$  adalah shape parameter, dan  $\Gamma$  merupakan fungsi Gamma.

Contoh perhitungan MTTF komponen Wire Feeder ( $\eta = 1113,47$  ;  $\beta = 4,75$ ):

$$MTTF = 1113,47 \times \Gamma(1 + 1/4,75) = 1113,47 \times \Gamma(1,21) = 1113,47 \times 0,91558 = 1019,47 \text{ jam}$$

Contoh perhitungan MTTR komponen Wire Feeder ( $\eta = 93,43$  ;  $\beta = 4,27$ ):

$$MTTR = 93,43 \times \Gamma(1 + 1/4,27) = 93,43 \times \Gamma(1,23) = 93,43 \times 0,91075 = 85,09 \text{ menit} = 1,418 \text{ jam}$$

Rekapitulasi hasil perhitungan MTTF dan MTTR seluruh komponen kritis disajikan pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Nilai MTTF dan MTTR Komponen Kritis

No	Nama Komponen	$\beta$ (Shape)	$\eta$ (Scale)	MTTF (Jam)	MTTR (Jam)
1	<i>Wire Feeder</i>	4,75	1113,47	1.019,47	1,418
2	<i>Inner Liner</i>	1,95	1081,95	959,25	0,763
3	<i>Feed Roller</i>	6,77	1132,63	1.056,79	1,152
4	<i>Welding Control PCB</i>	8,13	2541,76	2.398,38	2,876

Berdasarkan Tabel 5, nilai MTTF *Welding Control PCB* (2.398,38 jam) jauh lebih tinggi dibandingkan tiga komponen lainnya, yang konsisten dengan nilai  $\beta = 8,13$  dan  $\eta = 2.541,76$  jam. Ini menunjukkan bahwa PCB memiliki siklus hidup yang lebih panjang namun ketika mengalami kegagalan, proses perbaikannya juga membutuhkan waktu terlama (MTTR = 2,876 jam). Sebaliknya, *Inner Liner* memiliki MTTF terendah (959,25 jam) dengan MTTR terpendek (0,763 jam), mengindikasikan kerusakan yang relatif cepat terjadi namun mudah diperbaiki.

## F. Penentuan Interval Perawatan Optimal

Perhitungan interval perawatan optimal (TM) dilakukan berdasarkan model minimasi biaya menggunakan parameter distribusi Weibull dari data TTF komponen, biaya penggantian karena perawatan (CM), dan biaya penggantian karena kerusakan (CF). Formula yang digunakan adalah sebagai berikut [4]:

$$TM = \eta \times (CM / (CF - CM) \times 1/(\beta-1))^{1/\beta} \quad (4)$$

### 1. Biaya Penggantian Karena Perawatan (CM) dan Kerusakan (CF)

Biaya CM dihitung berdasarkan biaya tenaga kerja mekanik dan harga komponen, sedangkan biaya CF memperhitungkan tambahan biaya downtime produksi per jam. Biaya mekanik yang digunakan sebesar Rp 200.000/jam dan biaya downtime produksi sebesar Rp 180.000/jam, diperoleh dari data biaya tenaga kerja PT I.

$$CM = [\text{Biaya Mekanik} \times \text{MTTR}] + \text{Harga Komponen} \quad (5)$$

$$CF = [(\text{Biaya Mekanik} + \text{Biaya Downtime}) \times \text{MTTR}] + \text{Harga Komponen} \quad (6)$$

Rekapitulasi biaya CM, CF, dan hasil perhitungan interval perawatan optimal (TM) seluruh komponen kritis disajikan pada Tabel 6 berikut.

**Tabel 6.** Rekapitulasi Biaya CM, CF, dan *Interval Perawatan Optimal* (TM)

No	Komponen	Harga Komponen (Rp)	CM (Rp)	CF (Rp)	TM (Jam)	TM (Hari)	TM (Bulan)
1	<i>Wire Feeder</i>	850.000	1.134.000	1.389.600	2.115,05	88	2,9
2	<i>Inner Liner</i>	75.000	227.000	363.800	1.975,42	82	2,7
3	<i>Feed Roller</i>	85.000	315.000	522.000	1.598,39	67	2,2
4	<i>Welding Control PCB</i>	1.500.000	2.076.000	2.594.400	3.900,67	163	5,4

Berdasarkan Tabel 6, interval perawatan optimal yang direkomendasikan untuk masing-masing komponen kritis adalah: *Wire Feeder* setiap 2.115,05 jam ( $\pm 2,9$  bulan), *Inner Liner* setiap 1.975,42 jam ( $\pm 2,7$  bulan), *Feed Roller* setiap 1.598,39 jam ( $\pm 2,2$  bulan), dan *Welding Control PCB* setiap 3.900,67 jam ( $\pm 5,4$  bulan). Interval perawatan ini seluruhnya lebih pendek dari kebijakan tiga bulanan yang berlaku saat ini, kecuali *Welding Control PCB* yang memiliki interval lebih panjang. Hal ini menunjukkan bahwa *Wire Feeder*, *Inner Liner*, dan *Feed Roller* memerlukan frekuensi perawatan yang lebih tinggi dari sebelumnya karena laju kegagalan aktual yang tinggi [4]. Sementara *Welding Control PCB*—meskipun memiliki downtime total tinggi—memiliki laju kegagalan yang lebih terkendali sehingga interval perawatan yang lebih panjang masih dapat dipertanggungjawabkan secara teknis.

## G. RCM II Decision Worksheet

RCM II *Decision Worksheet* merupakan instrumen analisis yang digunakan untuk menentukan jenis *Maintenance* task yang paling tepat untuk setiap failure mode berdasarkan konsekuensi kegagalannya [16]. Evaluasi konsekuensi kegagalan dalam RCM II mencakup empat kategori: Hidden Failure (H), Safety (S), Environmental (E), dan Operational (O). Berdasarkan kategori konsekuensi tersebut, ditentukan jenis proactive task yang sesuai, yaitu Scheduled On-Condition Task (OCT), Scheduled Restoration Task (SRT), atau Scheduled Discard Task (SDT). Jika tidak ada proactive task yang memadai, diterapkan default action. Hasil RCM II Decision Worksheet mesin GMAW XD350S disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7.RCM II Decision Worksheet Mesin Welding GMAW XD350S

RCM II Decision Worksheet															Proposed Task	Interval (TM)(Jam)	Can Be Done By
Komponen	Information Reference			Consequence Evaluation				H1	H2	H3	Default Action						
	F	FF	FM	H	S	E	O	S1	S2	S3	O1	O2	O3				
	N1	N2	N3	H4	H5	S4											
Wire Feeder	1	A	1	N	Y	N	Y	N	N	Y				Scheduled Discard , Penggantian seal solenoid valve secara terjadwal pada setiap interval yang ditetapkan, karena seal mengalami keausan kumulatif yang tidak dapat dipulihkan dan berpotensi memicu kebocoran gas pelindung secara mendadak	1596,67	Mekanik	
	2	B	2	N	N	N	Y	Y	N	N							On-Condition Task (PM), Inspeksi dan pembersihan debu logam pada kumparan stator/rotor motor wire feeder serta pemeriksaan kondisi isolasi kabel berdasarkan kondisi aktual komponen; tindakan dilakukan jika ditemukan indikasi penumpukan debu atau degradasi isolasi
Inner Liner	1	A	1	N	N	N	Y	N	Y	N				Scheduled Restoration , Pembersihan menyeluruh inner liner dari debu dan serpihan besi menggunakan udara bertekanan, verifikasi geometri liner (tidak tertekuk/tersumbat), dan pemulihan kondisi liner ke standar kelancaran feeding kawat secara terjadwal	1615,53	Mekanik	
Feed Roller	1	A	1	N	N	N	Y	N	N	Y				Scheduled Discard , Penggantian feed roller secara terjadwal pada setiap interval yang ditetapkan karena keausan groove bersifat progresif akibat gesekan kontinyu dengan kawat, dan keausan yang melewati batas toleransi langsung memicu fenomena slippage kawat	1527,24	Mekanik	
Welding Control PCB	1	A	1	N	N	N	Y	Y	N	N				On-Condition Task (PM), Pembersihan debu konduktif dan serpihan bunga api pada relay serta area komponen PCB menggunakan compressed air, disertai pengecekan fungsi switching relay; tindakan dilakukan berdasarkan kondisi aktual tingkat penumpukan debu yang ditemukan saat inspeksi	3349,27	Mekanik	
	2	B	2	N	Y	N	Y	N	Y	N				Scheduled Restoration , Rekondisi PCB welding control secara terjadwal meliputi pembersihan menyeluruh, pengukuran nilai resistansi setiap komponen resistor, dan penggantian resistor yang nilainya menyimpang dari toleransi standar akibat beban arus berulang			
	3	C	3	N	N	N	Y	N	N	Y				Scheduled Discard , Penggantian transformator secara terjadwal pada setiap interval yang ditetapkan karena degradasi isolasi kumparan bersifat kumulatif akibat panas operasi jangka panjang, dan korsleting transformator tidak dapat diprediksi melalui inspeksi visual biasa			

Keterangan Tabel RCM II Decision Worksheet:

Information Reference:

- F : Function (Fungsi)
- FF : Functional Failure (Kegagalan Fungsional)
- FM : Failure Mode (Mode Kegagalan)

Consequence Evaluation:

- H : Hidden (Kegagalan Tersembunyi)
- S : Safety (Keselamatan)
- E : Environmental (Lingkungan)
- O : Operational (Operasional)

Kolom Decision Diagram

- H1-H3 : Pertanyaan konsekuensi hidden failure
- S1-S3 : Pertanyaan konsekuensi safety
- O1-O3 : Pertanyaan konsekuensi operational
- N1-N3 : Pertanyaan konsekuensi non-operational
- H4, H5 : Default action untuk hidden failure
- S4 : Default action untuk safety

Jenis Proposed Task

- Scheduled Discard : Penggantian komponen secara terjadwal
- Scheduled Restoration : Pemulihan/rekondisi komponen secara terjadwal
- On-Condition Task (PM) : Tindakan berdasarkan kondisi aktual komponen

Simbol

- Y : Yes (Ya)
- N : No (Tidak)
- : Not Applicable (Tidak Berlaku)

Berdasarkan Tabel 7, hasil RCM II Decision Worksheet menghasilkan tiga jenis Maintenance task yang direkomendasikan. Pertama, Scheduled Discard diterapkan pada seal solenoid valve (Wire Feeder), Feed Roller, dan transformator (PCB), karena ketiga komponen tersebut memiliki pola kegagalan wear-out yang tidak dapat dikembalikan kondisinya melalui rekondisi [10]. Penggantian terjadwal merupakan satu-satunya pendekatan andal untuk mencegah kegagalan mendadak. Kedua, Scheduled Restoration diterapkan pada Inner Liner dan resistor PCB, karena kedua komponen ini dapat dipulihkan ke kondisi standar operasional melalui pembersihan komprehensif dan rekondisi selektif tanpa harus mengganti seluruh unit [1]. Ketiga, On-Condition Task (PM) diterapkan pada motor Wire Feeder dan relay PCB, karena degradasi pada kedua komponen ini berlangsung secara bertahap dan dapat diidentifikasi melalui inspeksi berkala berbasis kondisi aktual sebelum terjadi kegagalan fungsi.

Penentuan jenis task pada setiap failure mode juga dipengaruhi oleh evaluasi konsekuensi. Failure mode pada Welding Control PCB (resistor terbakar) ditetapkan sebagai Safety consequence (S = Y) karena penghentian mesin secara mendadak saat pengelasan berlangsung dapat menciptakan kondisi berbahaya bagi operator. Hal ini selaras dengan pendekatan RCM II yang memprioritaskan keselamatan dalam hierarki pengambilan keputusan Maintenance [16]. Secara keseluruhan, jadwal perawatan berbasis RCM II ini diharapkan mampu mereduksi downtime tidak terencana secara signifikan dan meningkatkan availability mesin GMAW XD350S pada lini produksi PT I.

## Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian pada mesin Welding GMAW XD350S di PT INKA (Persero) menggunakan metode Reliability Centered Maintenance II (RCM II), diperoleh empat komponen kritis berdasarkan analisis diagram Pareto, yaitu Wire Feeder (765 menit, 32,25%), Welding Control PCB (690 menit, 29,09%), Feed Roller (552 menit, 23,27%), dan Inner Liner (365 menit, 15,39%). Melalui penyusunan tabel Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), nilai Risk Priority Number (RPN) tertinggi diperoleh pada Wire Feeder sebesar 392, diikuti Welding Control PCB sebesar 384, Inner Liner sebesar 280, dan Feed Roller sebesar 196, yang mengindikasikan tingkat risiko kegagalan dari masing-masing komponen. Seluruh komponen mengikuti distribusi Weibull berdasarkan uji Anderson-Darling menggunakan software Minitab 18, dengan nilai Mean Time To Failure (MTTF) sebesar 1.019,47 jam (Wire Feeder), 959,25 jam (Inner Liner), 1.056,79 jam (Feed Roller), dan 2.398,38 jam (Welding Control PCB). Berdasarkan perhitungan interval perawatan optimal (TM) yang mempertimbangkan biaya penggantian karena perawatan (C~M~) dan biaya penggantian karena kerusakan (C~F~), diperoleh interval masing-masing sebesar 2.115,05 jam (Wire Feeder), 1.975,42 jam (Inner Liner), 1.598,39 jam (Feed Roller), dan 3.900,67 jam (Welding Control PCB). Melalui RCM II Decision Worksheet, ditetapkan rekomendasi kebijakan perawatan berupa Scheduled Discard pada seal solenoid valve Wire Feeder dan transformator Welding Control PCB, On-Condition Task pada motor Wire Feeder dan relay PCB, serta Scheduled Restoration pada Inner Liner dan rekondisi PCB, yang secara keseluruhan diharapkan mampu meminimalkan downtime tidak terencana dan meningkatkan keandalan mesin produksi PT I secara berkelanjutan.

ISSN 2714-7444 (online), <https://acopen.umsida.ac.id>, published by Universitas Muhammadiyah Sidoarjo

## Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah berkontribusi dalam pelaksanaan penelitian ini, baik secara langsung maupun tidak langsung. Ucapan terima kasih disampaikan kepada PT K yang telah memberikan izin serta dukungan penuh selama proses penelitian berlangsung, khususnya kepada Divisi Pemeliharaan atas keterbukaan dalam berbagi data historis kerusakan mesin dan kemudahan akses selama kegiatan observasi di lapangan. Selain itu, penulis menyampaikan apresiasi kepada Bapak Joko Priyanto selaku Manajer Divisi Pemeliharaan beserta staff dan teknisi PT K atas bimbingan, bantuan, serta informasi yang diberikan dalam memahami kondisi operasional mesin *Welding* GMAW XD350S secara menyeluruh, sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik dan menghasilkan rekomendasi yang relevan bagi perusahaan.

## References

1. M. Is'adi et al., "Analisis Kebijakan dan Praktik Pemeliharaan di PT INKA: Perspektif Manajerial dan Teknisi," *Jurnal Penelitian Nusantara*, vol. 1, no. 3, pp. 179–183, 2025, doi: 10.59435/menulis.v1i3.92.
2. I. Adiasa, Y. Fachri, R. Suarantalla, and I. Mashabai, "Analisis Preventive Maintenance pada Unit Haul Truck Tipe CAT 777E dengan Menggunakan Siklus Plan, Do, Check, Action (PDCA) di PT Lawang Sampar Dodo," *Performa: Media Ilmiah Teknik Industri*, vol. 20, no. 1, pp. 29–34, 2021, doi: 10.20961/performa.20.1.44826.
3. E. Supriyadi and R. P. Ayuni, "Systematic Literature Review: Pemeliharaan Mesin dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) di Perseroan Terbatas," *Sistemik: Jurnal Ilmiah Nasional Bidang Ilmu Teknik*, vol. 11, no. 1, pp. 1–7, 2023, doi: 10.53580/sistemik.v11i1.80.
4. W. Nugroho and T. Sukmono, "Implementation of Reliability Centered Maintenance (RCM) II in Packaging Industry Production Machinery Maintenance Activities," *Jurnal IPTEKS*, vol. 1, no. 1, pp. 51–68, 2024, doi: 10.61796/ipteks.v1i1.91.
5. M. R. Widyaningrum and F. D. Winati, "Penjadwalan Perawatan Mesin di CV Wijaya Workshop dengan Pendekatan Reliability Centered Maintenance (RCM)," *TRINISTIK: Jurnal Teknik Industri, Bisnis Digital dan Teknik Logistik*, vol. 1, no. 1, pp. 37–43, 2022, doi: 10.20895/trinistik.v1i1.455.
6. Sunaryo, Japri, Yuhelson, and L. Hakim, "Implementasi RCM pada Mesin Diesel Deutz 20 kVA," *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, vol. 10, no. 1, pp. 42–52, 2021, doi: 10.24127/trb.v10i1.1451.
7. R. Rajwaa and I. Ikhsanudin, "Penerapan Preventive Maintenance pada Mesin CNC Forming," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 1, no. 1, pp. 12–20, 2025, doi: 10.58466/jtm.v1i1.1914.
8. T. J. Wibowo, T. S. Hidayatullah, and A. Nalhadi, "Analisa Perawatan pada Mesin Bubut dengan Pendekatan Reliability Centered Maintenance (RCM)," *Jurnal Rekayasa Industri*, vol. 3, no. 2, pp. 110–120, 2021, doi: 10.37631/jri.v3i2.485.
9. A. Basuki and I. Chusnayaini, "Identifikasi Risiko Kegagalan Proses Penyebab Terjadinya Cacat Produk dengan Metode FMEA-SAW," *Matrik: Jurnal Manajemen Teknik Industri*, vol. 22, no. 1, pp. 37–44, 2021, doi: 10.30587/matrik.v22i1.1967.
10. U. Eliesa and R. Rahmadewi, "Analisis Maintenance Mesin Jet Bor MBasic 2000 Motor dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM)," *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, vol. 9, no. 13, pp. 625–634, 2023, doi: 10.5281/zenodo.8159858.
11. M. L. Singgih, Y. Prasetyawan, Sutikno, D. Hartanto, F. R. Kurniawan, and W. T. Wicaksana, "Maintenance Management Improvement Based on Reliability Centered Maintenance II in Energy Generating Industries," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 528, no. 1, Art. no. 012054, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/528/1/012054.
12. I. Rachmayanti and Y. Prasetyawan, "Perancangan Kebijakan Perawatan Menggunakan Metode RCM II untuk Meningkatkan Nilai Overall Equipment Effectiveness (Studi Kasus PT X)," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 9, no. 2, pp. 264–271, 2020, doi: 10.12962/j23373539.v9i2.55469.
13. T. A. Sugiarto and E. Pudji W., "Analisa Pemeliharaan Mesin Printer dengan Reliability Centered Maintenance (RCM) II dan Life Cycle Cost (LCC) di CV XYZ," *Jurnal Ilmiah Teknik Informatika dan Komunikasi*, vol. 3, no. 2, pp. 144–158, 2023, doi: 10.55606/juitik.v3i2.509.
14. I. F. Sutiono, D. Widyaningrum, and D. Andesta, "Analisis Pengendalian Kualitas Pagar di UD Moeljaya Menggunakan Metode FMEA (Failure Mode and Effect Analysis)," *Tekmapro: Journal of Industrial Engineering and Management*, vol. 17, no. 2, pp. 13–24, 2022, doi: 10.33005/tekmapro.v17i2.302.
15. R. A. Guna and I. Ikhsanudin, "Analisis Maintenance Mesin Milling di CV Prima Lotus Jakarta," *Jurnal Riset Multidisiplin Edukasi*, vol. 2, no. 5, pp. 465–471, 2025, doi: 10.71282/jurmie.v2i6.496.
16. J. Sifonte and J. V. Reyes-Picknell, *Reliability Centered Maintenance-Reengineered (RCM-R): Practical Optimization of the RCM Process*. Materials Park, OH, USA: ASM International, 2017, doi: 10.31399/asm.hb.v11a.a0006817.