



Department of Digital Business

Journal of Artificial Intelligence and Digital Business (RIGGS)

Homepage: <https://journal.ilmudata.co.id/index.php/RIGGS>

Vol. 5 No. 2 (2026) pp: 9407- 9415

P-ISSN: 2963-9298, e-ISSN: 2963-914X

Penentuan Interval Preventive Maintenance PSD Seal pada Mesin Portable Spot Welding Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance

Gayuh Lemadi¹, Fuad Faisal², Doddy Lombardo³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Industri, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam As-Syafiiyah

¹gayuhlemadi.fst@uia.ac.id, ²fuadfaisal@gmail.com, ³doddylombardo@gmail.com

Abstrak

Gangguan operasional akibat kerusakan mesin menjadi salah satu faktor yang dapat menurunkan efektivitas proses produksi pada industri manufaktur otomotif. Salah satu peralatan yang berperan penting dalam proses perakitan bodi kendaraan adalah mesin Portable Spot Welding (PSW), yang membutuhkan tingkat keandalan tinggi untuk menjaga kontinuitas produksi. Penelitian ini bertujuan menentukan interval preventive maintenance yang optimal pada komponen PSD Seal menggunakan pendekatan Reliability Centered Maintenance (RCM). Data penelitian diperoleh dari catatan historis kerusakan mesin PSW selama periode Juni–November 2025 yang mencakup 16 kejadian kerusakan dengan total downtime sebesar 637 menit. Tahap analisis dilakukan melalui identifikasi komponen kritis menggunakan diagram Pareto, evaluasi risiko kegagalan dengan Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), pengujian distribusi probabilitas, serta perhitungan parameter keandalan menggunakan perangkat lunak Minitab 19. Hasil penelitian menunjukkan bahwa PSD Seal merupakan komponen yang memberikan kontribusi downtime terbesar, yaitu 372 menit atau 58,4% dari total downtime. Analisis distribusi menunjukkan bahwa data Time Between Failure mengikuti distribusi Weibull dengan parameter β sebesar 2,7368 dan θ sebesar 193,11 jam, sedangkan data Time To Repair mengikuti distribusi Lognormal dengan nilai MTTR sebesar 0,2081 jam. Nilai MTBF yang diperoleh sebesar 233,79 jam dengan reliabilitas komponen sebesar 20,31% pada umur tersebut. Simulasi preventive maintenance menunjukkan bahwa interval pemeliharaan setiap 84 jam mampu mempertahankan reliabilitas di atas 94% serta menghasilkan potensi penghematan biaya lebih dari Rp200 juta dalam periode enam bulan. Temuan ini menunjukkan bahwa penerapan RCM dapat menjadi dasar yang efektif dalam penyusunan kebijakan pemeliharaan berbasis keandalan untuk meningkatkan kinerja operasional mesin PSW.

Kata Kunci: Reliability Centered Maintenance, PSD Seal, Portable Spot Welding, Distribusi Weibull, Preventive Maintenance, Downtime.

1. Latar Belakang

Industri manufaktur otomotif Indonesia terus menunjukkan pertumbuhan yang signifikan. Data Gabungan Industri Kendaraan Bermotor Indonesia mengatakan [1], produksi kendaraan nasional mencapai 1,47 juta unit pada tahun 2024 menempatkan Indonesia sebagai basis produksi otomotif terbesar kedua di ASEAN setelah Thailand. Di tengah tekanan persaingan global yang semakin intens, efisiensi operasional produksi, termasuk keandalan mesin, menjadi faktor kompetitif yang tidak dapat diabaikan.

Mesin Portable Spot Welding (PSW) merupakan aset kritis dalam lini produksi kendaraan, khususnya pada tahapan welding (pengelasan bodi). Dalam sistem produksi berbasis layout aliran sekuensial seperti yang diterapkan di PT. MMKI, kegagalan satu mesin PSW berdampak langsung pada penghentian seluruh lini produksi. Salah satu komponen yang paling rentan mengalami kegagalan adalah PSD Seal, yaitu komponen elastomer berbentuk cincin dengan diameter sekitar 5 mm yang dipasang pada ujung cylinder gun sebagai penyekat hidraulis untuk menjaga kestabilan tekanan selama proses pengelasan. Meskipun memiliki dimensi yang relatif kecil dengan diameter sekitar 5 mm, komponen ini bekerja pada lingkungan operasi yang berat karena mengalami gesekan berulang akibat pergerakan piston, paparan panas dari proses pengelasan, serta kontaminasi partikel logam hasil proses stamping. Kondisi tersebut menyebabkan PSD Seal memiliki tingkat kerentanan kegagalan yang lebih tinggi dibandingkan komponen lainnya. Apabila terjadi kerusakan, mesin tidak mampu mempertahankan tekanan kerja yang dibutuhkan sehingga proses pengelasan terhenti dan mengakibatkan downtime produksi. Data internal PT. MMKI periode Juni–November 2025 menunjukkan bahwa kerusakan PSD Seal menyumbang downtime sebesar 372 menit atau 58,4% dari total downtime mesin sebesar 637 menit. Temuan tersebut menunjukkan adanya

ketidakproporsionalan kontribusi kerusakan yang signifikan sehingga memerlukan penanganan pemeliharaan secara sistematis.

Pendekatan perawatan yang selama ini diterapkan perusahaan bersifat reaktif, yaitu tindakan perbaikan dilakukan setelah kerusakan terjadi (corrective maintenance). Absennya jadwal preventive maintenance (PM) berbasis data menyebabkan frekuensi breakdown yang tinggi dan kerugian produksi yang berulang. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa implementasi RCM secara konsisten mampu menurunkan downtime [2,6], namun sebagian besar studi tersebut berfokus pada mesin-mesin berkapasitas besar seperti press machine [2], mesin blowing tekstil [4], dan belt conveyor pertambangan [5]. Komponen kecil-kritis seperti seal hidrolik yang memiliki dampak downtime tidak proporsional relatif kurang mendapat perhatian dalam literatur RCM domestik.

Meskipun demikian, masih terdapat beberapa keterbatasan dalam penelitian terdahulu. Sebagian besar studi hanya berfokus pada mesin utama berkapasitas besar, sedangkan penelitian mengenai komponen mikro kritis yang memiliki ukuran kecil namun berdampak signifikan terhadap downtime masih relatif terbatas. Selain itu, rekomendasi preventive maintenance umumnya ditentukan berdasarkan nilai MTBF tanpa mempertimbangkan target reliabilitas minimum yang harus dipertahankan. Oleh karena itu, penelitian ini mengintegrasikan analisis Pareto, FMEA, distribusi Weibull, simulasi reliabilitas, dan analisis ekonomi untuk memperoleh interval preventive maintenance yang optimal secara teknis dan ekonomis [2,6].

Berdasarkan permasalahan dan gap penelitian yang telah diidentifikasi, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi komponen kritis penyebab downtime tertinggi pada mesin PSW melalui analisis Pareto dan FMEA, menentukan distribusi probabilitas kegagalan PSD Seal serta menghitung parameter keandalannya menggunakan pendekatan Reliability Centered Maintenance (RCM), dan merumuskan interval preventive maintenance yang optimal untuk mempertahankan reliabilitas komponen di atas 90% serta mengevaluasi kelayakannya dari aspek ekonomi.

2. Research Methods

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif yang didukung oleh observasi lapangan dan wawancara dengan personel terkait. Pendekatan kuantitatif digunakan untuk menganalisis data historis kerusakan, menentukan distribusi probabilitas kegagalan, menghitung parameter keandalan, serta mengevaluasi interval preventive maintenance yang optimal. Observasi dan wawancara digunakan sebagai pendukung untuk memahami kondisi operasional mesin serta mengidentifikasi faktor-faktor penyebab kegagalan komponen serta Dokumentasi dilakukan dengan mengumpulkan data historis yang berkaitan dengan objek penelitian.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah Reliability Centered Maintenance (RCM), yang bertujuan untuk mengidentifikasi komponen kritis, menganalisis karakteristik kegagalan, serta menentukan interval preventive maintenance yang sesuai berdasarkan tingkat keandalan komponen [7,10]. Objek penelitian meliputi 24 unit mesin Portable Spot Welding (PSW) yang beroperasi di Departemen Welding, dengan fokus analisis pada komponen PSD Seal sebagai penyumbang downtime terbesar.

2.1. Pengumpulan Data

Tahap pengumpulan data dilakukan untuk memperoleh informasi yang dibutuhkan dalam analisis keandalan komponen PSD Seal pada mesin Portable Spot Welding (PSW). Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas data primer dan data sekunder yang diperoleh melalui beberapa teknik pengumpulan data sebagai berikut.

a. Observasi

Observasi dilakukan dengan mengamati secara langsung kondisi operasional mesin Portable Spot Welding (PSW) di Departemen Welding. Kegiatan observasi difokuskan pada proses kerja mesin, kondisi komponen PSD Seal, pola kerusakan yang terjadi, serta aktivitas pemeliharaan yang dilakukan oleh teknisi. Melalui observasi ini diperoleh gambaran mengenai kondisi aktual sistem dan faktor-faktor yang berpotensi memengaruhi keandalan komponen.

b. Wawancara

Wawancara dilakukan secara terstruktur dengan pihak yang terlibat langsung dalam pengoperasian dan pemeliharaan mesin PSW, yaitu Foreman Maintenance, teknisi maintenance, dan operator mesin. Wawancara bertujuan untuk memperoleh informasi mengenai penyebab kerusakan, prosedur perawatan yang diterapkan, frekuensi kegagalan komponen, serta kendala yang dihadapi selama proses pemeliharaan.

c. Dokumentasi

Dokumentasi dilakukan dengan mengumpulkan data historis yang berkaitan dengan objek penelitian. Data yang digunakan meliputi catatan kerusakan mesin yang diperoleh dari sistem Manufacturing Execution System (MES), data downtime, waktu antar kerusakan (Time Between Failure / TBF), waktu perbaikan (Time To Repair / TTR), spesifikasi teknis mesin, serta Standard Operating Procedure (SOP) pemeliharaan selama periode Juni – November 2025. Data dokumentasi tersebut digunakan sebagai dasar dalam identifikasi komponen kritis, analisis Reliability Centered Maintenance (RCM), serta perhitungan parameter keandalan komponen PSD Seal.

Rekapitulasi data kerusakan mesin PSW selama periode pengamatan disajikan pada Tabel 1. Data tersebut memuat informasi mengenai jenis kerusakan, frekuensi kejadian, dan total downtime yang digunakan sebagai dasar dalam penyusunan diagram Pareto serta penentuan komponen kritis yang menjadi fokus penelitian.

Tabel 1. Rekapitulasi Kerusakan Mesin PSW Periode Juni – November 2025

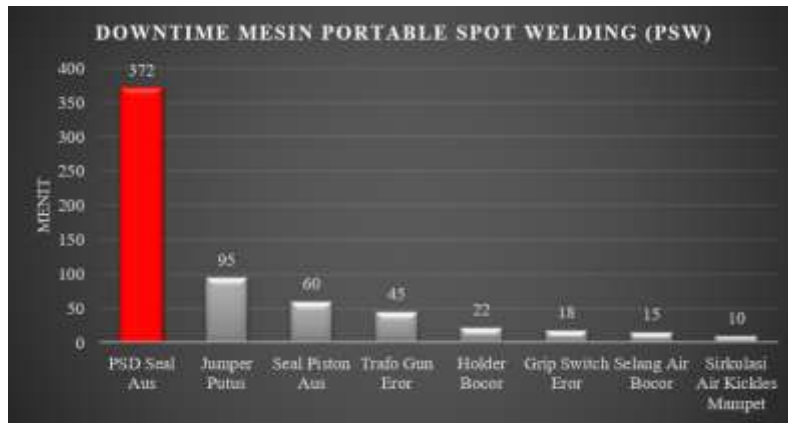
No.	Tanggal	Jenis Kerusakan	Durasi (mnt)	Mesin
1	10-Jun-25	PSD Seal Aus	90	PSW-07
2	20-Jun-25	Jumper Putus	20	PSW-12
3	04-Jul-25	PSD Seal Aus	80	PSW-03
4	22-Jul-25	Trafo Gun Error	25	PSW-18
5	01-Aug-25	Jumper Putus	15	PSW-07
6	14-Aug-25	Seal Piston Aus	60	PSW-21
7	28-Aug-25	Selang Air Bocor	10	PSW-09
8	09-Sep-25	Grip Switch Error	18	PSW-14
9	17-Sep-25	PSD Seal Aus	97	PSW-03
10	30-Sep-25	Holder Bocor	22	PSW-11
11	09-Oct-25	Jumper Putus	20	PSW-07
12	15-Oct-25	Trafo Gun Error	20	PSW-22
13	29-Oct-25	Sirkulasi Air Mampet	10	PSW-05
14	11-Nov-25	Jumper Putus	20	PSW-12
15	20-Nov-25	PSD Seal Aus	105	PSW-03
16	27-Nov-25	Holder Bocor	25	PSW-11

2.2. Pengolahan Data

Pengolahan data dalam penelitian ini dilakukan untuk menganalisis tingkat keandalan komponen PSD Seal pada mesin Portable Spot Welding (PSW) serta menentukan interval preventive maintenance yang sesuai. Data yang digunakan meliputi data historis kerusakan, waktu antar kerusakan (Time Between Failure/TBF), waktu perbaikan (Time To Repair/TTR), dan data downtime mesin selama periode pengamatan.

Tahap awal pengolahan data dilakukan dengan menggunakan diagram Pareto untuk mengidentifikasi komponen kritis berdasarkan kontribusi downtime terbesar. Komponen yang memiliki dampak paling signifikan terhadap downtime selanjutnya dipilih sebagai fokus penelitian.

Selanjutnya, komponen kritis yang teridentifikasi dianalisis menggunakan metode Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) untuk mengevaluasi moda kegagalan, penyebab kegagalan, dampak yang ditimbulkan, serta tingkat prioritas risiko berdasarkan nilai Risk Priority Number (RPN). Hasil FMEA digunakan sebagai dasar dalam penentuan tindakan pemeliharaan yang sesuai berdasarkan prinsip Reliability Centered Maintenance (RCM). Tahap berikutnya dilakukan pengujian distribusi probabilitas terhadap data Time Between Failure (TBF) dan Time To Repair (TTR) guna memperoleh model distribusi yang paling representatif. Parameter distribusi yang diperoleh kemudian digunakan untuk menghitung nilai MTBF, MTTR, dan reliabilitas komponen, yang selanjutnya menjadi dasar dalam penentuan interval preventive maintenance yang optimal serta evaluasi kelayakan ekonominya.



Gambar 1. Diagram Pareto Downtime Mesin PSW bulan Juni – November 2025

Berdasarkan Gambar 1, kerusakan PSD Seal Aus merupakan penyebab downtime terbesar dengan total downtime sebesar 372 menit, diikuti oleh Jumper Putus sebesar 95 menit, Seal Piston Aus sebesar 60 menit, dan Trafo Gun Error sebesar 45 menit. Hasil analisis Pareto menunjukkan bahwa kerusakan pada komponen PSD Seal memberikan kontribusi downtime paling dominan dibandingkan jenis kerusakan lainnya. Oleh karena itu, komponen PSD Seal ditetapkan sebagai komponen kritis yang menjadi fokus analisis pada penelitian ini.

Setelah komponen kritis ditentukan, dilakukan analisis menggunakan metode Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) untuk mengidentifikasi mode kegagalan (failure mode), penyebab kegagalan (failure cause), dampak kegagalan (failure effect), serta menentukan tingkat prioritas risiko berdasarkan nilai Risk Priority Number (RPN). Hasil analisis FMEA digunakan sebagai dasar dalam penyusunan strategi pemeliharaan yang sesuai untuk meminimalkan potensi kegagalan komponen [11].

Tahap selanjutnya adalah pengujian independensi data menggunakan uji tren Mann-Kendall pada data TBF. Pengujian ini dilakukan untuk memastikan bahwa data kerusakan memenuhi asumsi independensi sehingga layak digunakan dalam analisis keandalan [12]. Setelah data dinyatakan memenuhi asumsi tersebut, dilakukan pencocokan distribusi probabilitas (best fit distribution) menggunakan perangkat lunak Minitab 19 dengan membandingkan distribusi Weibull, Normal, Lognormal, dan Eksponensial. Distribusi terbaik dipilih berdasarkan hasil goodness of fit yang menunjukkan kesesuaian tertinggi terhadap karakteristik data kerusakan komponen PSD Seal.

Distribusi probabilitas yang terpilih kemudian digunakan untuk menghitung parameter keandalan komponen, yaitu Mean Time Between Failure (MTBF), Mean Time To Repair (MTTR), serta fungsi reliabilitas komponen [10]. Pada penelitian ini, fungsi reliabilitas dihitung menggunakan distribusi Weibull yang dinyatakan sebagai:

$$R(t) = \exp\left(-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta\right) \quad (1)$$

Dimana $R(t)$ merupakan reliabilitas komponen pada waktu t , β adalah shape parameter, dan θ adalah scale parameter distribusi Weibull. Nilai $\beta > 1$ menunjukkan bahwa komponen mengalami pola kegagalan wear-out, yaitu laju kegagalan yang meningkat seiring bertambahnya waktu operasi [13].

Selanjutnya, nilai MTBF dihitung menggunakan fungsi Gamma dengan persamaan:

$$MTTF = \theta r \left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (2)$$

Parameter keandalan yang diperoleh digunakan untuk mengevaluasi tingkat reliabilitas komponen PSD Seal pada berbagai interval operasi. Berdasarkan hasil tersebut, dilakukan simulasi preventive maintenance dengan membandingkan interval pemeliharaan eksisting sebesar 336 jam dan interval usulan yang ditentukan berdasarkan target reliabilitas minimum sebesar 90%.

Untuk mengevaluasi pengaruh preventive maintenance terhadap keandalan komponen, reliabilitas sistem setelah penerapan preventive maintenance periodik dihitung menggunakan persamaan:

$$R_m(t) = R(T)^n \times R(t - nT) \quad (3)$$

Dimana n merupakan jumlah siklus preventive maintenance yang telah dilakukan dan T merupakan interval preventive maintenance. Hasil simulasi kemudian digunakan untuk membandingkan tingkat reliabilitas yang








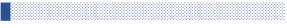
dihasilkan oleh masing-masing interval pemeliharaan. Tahap akhir pengolahan data dilakukan melalui analisis benefit-cost ratio untuk mengevaluasi kelayakan ekonomis dari interval preventive maintenance yang diusulkan [14]. Hasil analisis ini menjadi dasar dalam penyusunan rekomendasi kebijakan pemeliharaan guna meningkatkan keandalan komponen PSD Seal serta mengurangi kerugian akibat downtime mesin.

3. Hasil dan Diskusi

3.1 Analisis Data Kerusakan dan Identifikasi Komponen Kritis

Berdasarkan data historis kerusakan mesin Portable Spot Welding (PSW) selama periode pengamatan, dilakukan analisis Pareto untuk mengidentifikasi komponen yang memberikan kontribusi terbesar terhadap downtime. Hasil analisis disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Distribusi Downtime dan Persentasenya

Jenis Kerusakan	Total (mnt)	Distribusi Downtime (proporsional)	Persentase (%)
PSD Seal Aus	372		58.4%
Jumper Putus	75		11.8%
Seal Piston Aus	60		9.4%
Holder Bocor	47		7.4%
Trafo Gun Error	45		7.1%
Grip Switch Error	18		2.8%
Selang Air Bocor	10		1.6%
Sirkulasi Air Mampet	10		1.6%

Hasil analisis menunjukkan bahwa kerusakan PSD Seal Aus merupakan penyebab downtime terbesar dengan total downtime sebesar 372 menit atau 58,4% dari total downtime mesin sebesar 637 menit. Nilai tersebut jauh lebih tinggi dibandingkan jenis kerusakan lainnya, seperti Jumper Putus sebesar 75 menit (11,8%), Seal Piston Aus sebesar 60 menit (9,4%), Holder Bocor sebesar 47 menit (7,4%), dan Trafo Gun Error sebesar 45 menit (7,1%).

Temuan ini menunjukkan bahwa distribusi downtime pada mesin PSW tidak terjadi secara merata, melainkan terkonsentrasi pada satu komponen utama, yaitu PSD Seal. Kondisi tersebut sejalan dengan prinsip Pareto yang menyatakan bahwa sebagian besar kerugian operasional umumnya disebabkan oleh sejumlah kecil sumber permasalahan yang dominan.

Meskipun frekuensi kerusakan PSD Seal Aus hanya sebanyak empat kejadian atau sekitar 25% dari total 16 kejadian kerusakan selama periode pengamatan, komponen ini memberikan kontribusi downtime yang paling besar. Rata-rata downtime yang ditimbulkan mencapai sekitar 93 menit per kejadian, sedangkan rata-rata downtime jenis kerusakan lainnya hanya sekitar 21 menit per kejadian. Temuan ini menunjukkan bahwa tingkat kritikalitas suatu komponen tidak hanya ditentukan oleh frekuensi kegagalannya, tetapi juga oleh besarnya dampak operasional yang ditimbulkan ketika kegagalan terjadi.

Tingginya durasi downtime tersebut disebabkan oleh proses penggantian PSD Seal yang memerlukan pembongkaran cylinder gun, pemeriksaan kondisi komponen pendukung, pemasangan kembali komponen, serta pengujian fungsi mesin sebelum dapat dioperasikan kembali. Rangkaian aktivitas tersebut menyebabkan waktu pemulihan menjadi lebih panjang dibandingkan jenis kerusakan lainnya yang umumnya dapat diselesaikan melalui tindakan perbaikan yang lebih sederhana.

Selain besarnya kontribusi downtime, karakteristik operasi PSD Seal juga menunjukkan bahwa komponen ini bekerja pada kondisi yang rentan terhadap mekanisme degradasi progresif. Paparan gesekan berulang akibat pergerakan piston, fluktuasi temperatur selama proses pengelasan, serta masuknya partikel logam halus dari lingkungan kerja berpotensi mempercepat penurunan kualitas material elastomer. Akumulasi kerusakan tersebut umumnya tidak langsung menyebabkan kegagalan mendadak, tetapi berkembang secara bertahap hingga kemampuan penyekatan menurun dan mengakibatkan kebocoran tekanan hidrolik. Kondisi ini menunjukkan bahwa kegagalan PSD Seal memiliki pola degradasi yang dapat diprediksi sehingga lebih sesuai ditangani melalui strategi preventive maintenance dibandingkan pendekatan corrective maintenance yang selama ini diterapkan.

Berdasarkan hasil analisis tersebut, PSD Seal ditetapkan sebagai komponen kritis pada mesin Portable Spot Welding dan dipilih sebagai objek utama pada tahapan analisis berikutnya, yaitu Failure Mode and Effects

Analysis (FMEA), penentuan distribusi probabilitas kegagalan, perhitungan parameter keandalan, serta penyusunan rekomendasi preventive maintenance berbasis Reliability Centered Maintenance.

3.2 Analisis FMEA Komponen Kritikal

Tabel 3. menyajikan analisis Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) untuk komponen-komponen utama mesin PSW. Risk Priority Number (RPN) dihitung berdasarkan perkalian Severity (S), Occurrence (O), Detectability (D) dengan rumus ($RPN = S \times O \times D$) dan dalam skala 1–10:

Tabel 3. Analisis FMEA Komponen Mesin PSW

Komponen	Moda Kegagalan	Efek Kegagalan	S	O	D	RPN
PSD Seal	Keausan mekanis (wear-out)	Kebocoran tekanan hidrolik, mesin berhenti	8	7	4	224
PSD Seal	Kontaminasi debris/gram	Seal robek, fluida bocor	7	6	5	210
PSD Seal	Overheating	Deformasi elastomer, kehilangan elastisitas	7	5	4	140
Jumper	Putus akibat fatigue	Tidak ada aliran listrik ke gun	6	5	3	90
Seal Piston	Aus akibat gesekan	Tekanan tidak tercapai, hasil las buruk	7	4	4	112
Trafo Gun	Error pembacaan arus	Output las tidak stabil	6	3	5	90
Holder	Korosi/kebocoran	Fluida pendingin bocor	5	3	4	60

Tabel 3. menunjukkan bahwa moda kegagalan keausan mekanis PSD Seal memiliki RPN tertinggi (224), diikuti kontaminasi debris pada PSD Seal (210). Kedua moda kegagalan ini konsisten dengan temuan lapangan gerakan piston yang berulang dengan frekuensi tinggi (rata-rata 120 siklus/menit) menyebabkan gesekan mekanis yang progresif, sementara lingkungan kerja yang terpapar gram baja dan debris mempercepat degradasi material elastomer. Nilai Occurrence ($O=7$) dan Severity ($S=8$) yang tinggi pada moda kegagalan utama mengkonfirmasi urgensi implementasi PM proaktif.

3.3 Decision Logic Reliability Centered Maintenance

Hasil analisis FMEA selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam penyusunan decision logic Reliability Centered Maintenance (RCM). Tahapan ini bertujuan menentukan tindakan pemeliharaan yang paling sesuai berdasarkan konsekuensi kegagalan yang ditimbulkan oleh masing-masing moda kegagalan.

Tabel 4. Decision Logic Reliability Centered Maintenance

Failure Mode	Consequence Category	Recommended Task
Keausan PSD Seal	Operational Consequence	Scheduled Replacement
Kontaminasi Debris	Operational Consequence	Scheduled Inspection
Overheating PSD Seal	Operational Consequence	Condition Monitoring

Berdasarkan decision logic RCM, seluruh moda kegagalan utama PSD Seal termasuk kategori operational consequence karena secara langsung menyebabkan terganggunya proses produksi dan meningkatnya downtime mesin. Oleh karena itu tindakan pemeliharaan yang direkomendasikan adalah scheduled replacement dan scheduled inspection yang dilakukan secara berkala sebelum komponen mencapai kondisi kegagalan fungsional.

3.4 Best Fit Distribution dan Parameter Keandalan

Penentuan distribusi probabilitas dilakukan menggunakan Minitab 19 dengan membandingkan empat distribusi kandidat. Tabel 5. menyajikan hasil pengujian goodness-of-fit menggunakan uji Anderson-Darling:

Tabel 5. Hasil Pengujian Best Fit Distribution Komponen PSD Seal (Minitab 19)

Distribusi	AD-Statistic (TBF)	p-value	AD-Statistic (TTR)	p-value	Status
Weibull (2-param)	0,312	> 0,250	0,891	0,022	TBF: ✓ Terpilih
Lognormal	0,478	> 0,250	0,287	> 0,250	TTR: ✓ Terpilih
Normal	0,843	0,028	0,512	0,189	Ditolak
Ekspensial	1,247	< 0,010	1,103	< 0,010	Ditolak

Distribusi Weibull 2 parameter terpilih sebagai best fit untuk Time Between Failure (TBF) berdasarkan nilai Anderson-Darling terendah (0,312) dengan p-value > 0,250 (tidak menolak H_0). Distribusi Lognormal terpilih untuk Time To Repair (TTR) dengan AD = 0,287. Parameter hasil estimasi disajikan pada Tabel 6:

DOI: <https://doi.org/10.31004/riggs.v5i2.9803>

Lisensi: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

Tabel 6. Parameter Distribusi Keandalan Komponen PSD Seal

Parameter	Simbol	Nilai	Interpretasi
Shape Parameter	β (beta)	2,7368	Wear-out failure ($\beta > 1$)
Scale Parameter	θ (theta)	193,11 jam	Karakteristik umur komponen
Mean Time Between Failure	MTBF	233,79 jam	~13 hari operasional (18 jam/hari)
Mean Time To Repair	MTTR	0,2081 jam	~12,5 menit (waktu repair aktual)
Log-mean (TTR)	μ	0,2081	Parameter distribusi Lognormal
Log-std (TTR)	σ	0,125	Parameter distribusi Lognormal

Nilai shape parameter ($\beta = 2,7368$) yang diperoleh pada penelitian ini menunjukkan karakteristik wear-out yang lebih kuat dibandingkan beberapa penelitian RCM sebelumnya. Hasan et al. [3] melaporkan nilai β sekitar 2,4 pada komponen ripple mill, sedangkan penelitian ini menghasilkan nilai β yang lebih tinggi. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa laju degradasi PSD Seal berlangsung lebih cepat akibat kombinasi beban mekanis, temperatur operasi, dan kontaminasi partikel logam pada lingkungan kerja welding. Semakin tinggi nilai β menunjukkan semakin cepat peningkatan hazard rate sehingga penerapan preventive maintenance menjadi lebih efektif dibandingkan strategi corrective maintenance.

Nilai MTBF = 233,79 jam setara dengan 13 hari operasional. Namun, karena $\beta > 1$, MTBF bukan merupakan waktu yang 'aman' untuk tidak melakukan PM pada nilai $t = \text{MTBF}$, probabilitas komponen sudah gagal mencapai $1 - R(233,79) = 1 - 0,2031 = 79,69\%$. Ini adalah konsekuensi matematis dari distribusi Weibull dengan β tinggi yang sering diabaikan dalam praktik perawatan konvensional [15].

Perlu dicatat bahwa MTTR = 0,2081 jam (~12,5 menit) mencerminkan waktu perbaikan aktual (penggantian seal itu sendiri), berbeda jauh dengan durasi downtime total yang tercatat 80–105 menit. Selisih 67–92 menit merupakan komponen waktu tidak produktif yang terdiri dari: waktu tunggu respons teknisi (~15 menit), pengadaan spare part dari gudang (~25 menit), dan prosedur pembongkaran/pemasangan cylinder gun (~30 menit). Identifikasi komponen waktu tidak produktif ini membuka peluang optimasi terpisah melalui perbaikan sistem manajemen spare part

3.5 Analisis Reliabilitas dan Simulasi Skenario PM

Menggunakan persamaan (1), nilai reliabilitas komponen PSD Seal dihitung pada berbagai titik waktu. Tabel 2 memvisualisasikan perbandingan tiga skenario secara paralel: tanpa PM, PM siklus 336 jam, dan PM siklus 84 jam:

Tabel 7. Perbandingan Reliabilitas PSD Seal: Tanpa PM vs. PM 336 Jam vs. PM 84 Jam

t (jam)	R(t) Tanpa PM	Rm 336j	Δ 336j	Rm 84j	Δ 84j
24	99.71%	99.71%	0.00%	99.71%	0.00%
48	98.24%	98.24%	0.00%	98.24%	0.00%
84	94.02%	94.02%	0.00%	99.97%	+5.95%
120	78.90%	78.90%	0.00%	99.71%	+20.81%
168	52.80%	52.80%	0.00%	99.71%	+46.91%
192	39.52%	39.52%	0.00%	98.24%	+58.72%
233.79	20.31%	20.31%	0.00%	94.02%	+73.71%
264	10.52%	10.52%	0.00%	99.97%	+89.45%
288	5.73%	5.73%	0.00%	99.71%	+93.98%
312	2.83%	2.83%	0.00%	98.24%	+95.41%
336	1.26%	1.26%	0.00%	94.02%	+92.76%
360	0.41%	1.05%	+0.64%	99.97%	+99.56%
420	0.02%	0.99%	+0.97%	98.24%	+98.22%
504	0.00%	0.53%	+0.53%	94.02%	+94.02%

Keterangan:

Δ = selisih reliabilitas dibandingkan kondisi tanpa PM,

baris kuning = nilai MTBF,

baris hijau = titik PM siklus 336 jam

Tabel 7. mengungkap kontras yang dramatis. Pada $t = 336$ jam (satu siklus PM perusahaan saat ini), reliabilitas tanpa PM hanya 1,26% komponen dengan probabilitas 98,74% sudah gagal sebelum PM dilakukan. PM siklus 336 jam hanya meningkatkan $R_m(t)$ menjadi 1,05% pada $t = 360$ jam, atau peningkatan sebesar 0,64 poin persentase yang secara praktis tidak bermakna.

Sebaliknya, PM siklus 84 jam menghasilkan transformasi yang fundamental. Pada $t = 336$ jam, $R_m(t) = 94,02\%$ komponen selalu berada dalam kondisi near-new karena siklus PM memperbarui kondisi komponen sebelum degradasi mencapai level kritis. Peningkatan reliabilitas rata-rata sebesar 70 – 93 poin persentase di berbagai titik waktu mencerminkan efektivitas yang jauh melampaui praktik PM konvensional.

Secara teoritis, efektivitas PM siklus pendek pada komponen dengan β tinggi dapat dijelaskan melalui konsep conditional reliability: semakin tinggi nilai β , semakin besar manfaat marginal dari setiap tindakan PM, karena laju kegagalan yang meningkat tajam berarti setiap jam penundaan PM memiliki biaya reliabilitas yang semakin mahal [16]. Temuan ini konsisten dengan Hasan et al. [3] yang menemukan pola serupa pada komponen rotasi mesin ripple mill dengan $\beta \approx 2,4$.

3.6 Analisis Ekonomi dan Rekomendasi Jadwal PM

Estimasi kerugian downtime dihitung berdasarkan nilai kehilangan output produksi pada lini welding yang diperoleh dari data operasional perusahaan. Penelitian ini menggunakan asumsi kerugian pada produksi sebesar Rp45.000.000 per jam downtime yang mencakup kehilangan kapasitas produksi, biaya tenaga kerja tidak produktif, hingga potensi keterlambatan pemenuhan target produksi. Pada analisis ekonomi dapat dilihat pada Tabel 8. yang menjelaskan tentang evaluasi kelayakan ekonomis implementasi PM siklus 84 jam dibandingkan kondisi eksisting:

Tabel 8. Analisis Kelayakan Ekonomis PM Siklus 84 Jam vs. Kondisi Eksisting

Komponen Biaya	Kondisi Eksisting (CM)	PM Siklus 84 Jam	Selisih
Total downtime PSD Seal (6 bln)	372 menit	~93 menit*	-279 menit (-75%)
Kerugian downtime (Rp 45 jt/jam)	Rp279.000.000	Rp69.750.000	-Rp 209.250.000
Biaya CM (material + tenaga)	Rp2.400.000	Rp 0 (ideal)	-Rp 2.400.000
Biaya PM (18 PM × Rp 600.000)	Rp0	Rp10.800.000	Rp10.800.000
Total Biaya 6 Bulan	Rp281.400.000	Rp80.550.000	-Rp 200.850.000
Benefit-Cost Ratio	—	19,4 : 1	—

*) Estimasi berdasarkan reduksi sebesar 75% downtime sesuai simulasi reliabilitas PM siklus 84 jam

Benefit-cost ratio 19,4:1 merupakan justifikasi ekonomis yang kuat. Untuk setiap Rp. 1 yang diinvestasikan dalam PM siklus 84 jam, perusahaan berpotensi menghindari kerugian Rp 19,4 dari downtime produksi. Tingkat pengembalian investasi ini bahkan lebih konservatif dari kenyataan kalkulasi di atas belum memperhitungkan: biaya kualitas akibat las yang tidak memenuhi standar saat mesin bermasalah, biaya overtime untuk mengejar target produksi setelah downtime, dan risiko keselamatan operator dari mesin PSW yang tidak terawat. Pada Tabel 9 merumuskan jadwal PM berlapis yang direkomendasikan berdasarkan hasil analisis:

Tabel 9. Rekomendasi Jadwal Preventive Maintenance PSD Seal (Berbasis Analisis RCM)

Level PM	Interval	Aktivitas Utama	Durasi	Petugas
Inspeksi Harian	Setiap 18 jam (1 hari)	Visual check kebocoran, kondisi seal	10 mnt	Operator
PM Level 1 (L1)	Setiap 84 jam (4,7 hr)	Inspeksi + pembersihan cylinder gun	30 mnt	Teknisi
PM Level 2 (L2)	Setiap 168 jam (9,3 hr)	L1 + lubrication + pengukuran tekanan	60 mnt	Teknisi Senior
PM Level 3 (L3)	Setiap 336 jam (18,7 hr)	L2 + penggantian PSD Seal preventif	90 mnt	Teknisi Senior
Overhaul (L4)	Setiap 672 jam (37,3 hr)	L3 + overhaul cylinder gun lengkap	180 mnt	Supervisor + Teknisi
Penggantian Darurat	$R(t) \leq 10\%$ ($t \geq 264$ jam)	Penggantian PSD Seal + backup ring	120 mnt	Teknisi Senior

Jadwal berlapis pada Tabel 9 dirancang dengan prinsip escalating intervention: tindakan ringan dilakukan lebih sering untuk deteksi dini, sementara intervensi yang lebih invasif (penggantian komponen) dilakukan secara preventif sesuai jadwal. Pendekatan ini mengoptimalkan keseimbangan antara biaya PM dan manfaat keandalankonsisten dengan prinsip minimum effective maintenance.

4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil menerapkan metode Reliability Centered Maintenance (RCM) untuk menganalisis keandalan komponen PSD Seal pada mesin Portable Spot Welding (PSW) di PT MMKI. Hasil analisis menunjukkan bahwa PSD Seal Aus merupakan komponen kritis dengan kontribusi downtime terbesar yaitu 372 menit atau 58,4% dari total downtime sebesar 637 menit selama periode pengamatan. Analisis FMEA menghasilkan nilai Risk Priority Number (RPN) tertinggi sebesar 224 yang menunjukkan bahwa komponen tersebut memerlukan prioritas penanganan pemeliharaan. Hasil pengujian distribusi probabilitas menunjukkan bahwa data Time Between Failure mengikuti distribusi Weibull dengan parameter β sebesar 2,7368 dan θ sebesar 193,11 jam, yang mengindikasikan pola kegagalan wear-out. Nilai MTBF yang diperoleh sebesar 233,79 jam dengan reliabilitas hanya 20,31% pada umur tersebut. Simulasi preventive maintenance menunjukkan bahwa interval pemeliharaan setiap 84 jam mampu mempertahankan reliabilitas di atas 94% dan memberikan peningkatan reliabilitas yang jauh lebih baik dibandingkan interval pemeliharaan eksisting sebesar 336 jam. Dari sisi ekonomi, penerapan preventive maintenance setiap 84 jam memberikan benefit-cost ratio sebesar 19,4 : 1 dengan potensi penghematan biaya lebih dari Rp200 juta per semester. Dengan demikian, interval preventive maintenance 84 jam direkomendasikan sebagai kebijakan pemeliharaan yang optimal untuk meningkatkan keandalan komponen PSD Seal serta mengurangi kerugian akibat downtime produksi.

Referensi

- [1] GAIKINDO, "Statistik Penjualan dan Produksi Kendaraan Bermotor Indonesia 2024," Jakarta: Gabungan Industri Kendaraan Bermotor Indonesia. [Online]. Available: <https://www.gaikindo.or.id>
- [2] J. A. W. H. Afiva, F. T. D. Atmaji, "Penerapan metode Reliability Centered Maintenance (RCM) pada perencanaan interval preventive maintenance dan estimasi biaya pemeliharaan menggunakan analisis FMECA," *J. PASTI*, vol. 13, no. 3, pp. 298–309, 2020, doi: <https://doi.org/10.22441/pasti.2019.v13i3.007>.
- [3] L. H. I. Hasan, Denur, "Penerapan Reliability Centered Maintenance (RCM) pada mesin Ripple Mill," *J. Tek. Ind. Terintegrasi*, vol. 6, no. 1, pp. 43–48, 2019, doi: <https://doi.org/10.31004/jtri.v6i1.112>.
- [4] D. P. Sari and M. F. Ridho, "Evaluasi manajemen perawatan dengan metode Reliability Centered Maintenance (RCM) II pada mesin Blowing I di Plant I PT. Pisma Putra Textile," *J@ti Undip J. Tek. Ind.*, vol. 11, no. 2, pp. 73–80, 2016, doi: <https://doi.org/10.14710/jati.11.2.73-80>.
- [5] M. F. A. P. D. Satrijo, A. Suprihanto, O. Kurdi, D. B. Wibowo, G. D. Haryadi, Y. Umardani, K. Rozi, "Penggunaan metode Reliability Centered Maintenance untuk menjaga keandalan material belt conveyor," *J. Mater. Teknol. Proses*, vol. 2, no. 1, pp. 1–10, 2021, doi: <https://doi.org/10.22146/jmtp.66163>.
- [6] T. H. R. M. Simanungkalit, S. Suliawati, "Analisis penerapan sistem perawatan dengan menggunakan metode Reliability Centered Maintenance (RCM) pada Cement Mill type Tube Mill di PT Cemindo Gemilang Medan," *Blend Sains J. Tek.*, vol. 2, no. 1, pp. 72–83, 2023, doi: <https://doi.org/10.56211/blendsains.v2i1.199>.
- [7] K. C. Kapur and M. G. Pecht, "Reliability Engineering," *Hoboken, NJ John Wiley Sons*, 2014, doi: <https://doi.org/10.1002/9781118841716>.
- [8] E. E. L. J. E. Breneman, C. Sahay, *Introduction to Reliability Engineering, 2nd ed.* Hoboken: NJ: John Wiley & Sons, 2022.
- [9] R. K. Mobley, *Maintenance Fundamentals, 3rd ed.* UK: Elsevi. Oxford, 2022.
- [10] J. Moubray, *Reliability-Centered Maintenance, 2nd ed.* New York: NY: Industrial Press Inc, 2001.
- [11] G. Lemadi, H. Suroso, D. E. A. Prasetyo "Analisis Keandalan Mesin Welding Pallet Berbasis Reliability Centered Maintenance (RCM) dan FMEA," *RIGGS J. Artif. Intell. Digit. Bus.*, vol. 4, no. 4, pp. 10956–10962, 2026, doi: <https://doi.org/10.31004/riggs.v4i4.5262>.
- [12] M. A. M. I. H. Afefy, A. Mohib, A. M. El-Kamash, "A new framework of reliability centered maintenance," *Jordan J. Mech. Ind. Eng.*, vol. 13, no. 3, pp. 145–158, 2019, [Online]. Available: <https://jjmie.hu.edu.jo/>
- [13] E. L. P. B. S. Blanchard, D. Verma, *Maintainability: A Key to Effective Serviceability and Maintenance Management, 2nd ed.* Hoboken: NJ: John Wiley & Sons, 2020.
- [14] T. K. Agustiady and E. A. Cudney, "Total Productive Maintenance: Strategies and Implementation Guide," *FL Taylor Fr.*, 2018, doi: <https://doi.org/10.1201/9780429443305>.
- [15] E. Zio, "The Monte Carlo Simulation Method for System Reliability and Risk Analysis," *Springer*, 2022, doi: <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-4588-2>.
- [16] A. Crespo Márquez, *The Maintenance Management Framework: Models and Methods for Complex Systems Maintenance*. London: UK: Springer, 2022. doi: <https://doi.org/10.1007/978-1-84628-821-0>.