

Optimization of Soybean Grinding Machine Maintenance System in Tempe Production Using the Reliability Centered Maintenance (RCM) Method to Improve Operational Efficiency

[Optimasi Sistem Perawatan Mesin Penggiling Kedelai Tempe Menggunakan Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) dalam Upaya Peningkatan Efisiensi Operasional]

Youngky Odies S¹⁾, Indah Apriliana Sari W.²⁾

¹⁾Program Studi Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

²⁾Program Studi Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi: indahapriliana@umsida.ac.id

Abstract. *Tempe production MSMEs in Jambangan Village experience high machine downtime due to a corrective maintenance system, with 33 failure incidents recorded. This study aims to analyze machine reliability and determine the optimal preventive maintenance interval using the Reliability Centered Maintenance (RCM) method. Historical data were converted into Time to Failure (TTF) and analyzed using the Weibull distribution, along with MTTF and hazard rate calculations. The results show that both machines are in the wear-out phase ($\beta > 1$), with Machine 2 having better reliability performance than Machine 1. By setting a minimum reliability limit of $R(t) \geq 0.80$, the optimal intervals are 55.9 hours for Machine 1 and 75.3 hours for Machine 2. Implementation of these intervals increases reliability from 0.514 to 0.80 (28.6%) and from 0.628 to 0.80 (17.2%), and theoretically reduces failure risk by up to 20%, improving operational stability.*

Keywords - *Reliability Centered Maintenance (RCM), Weibull Distribution, Preventive Maintenance, Reliability Analysis, Root Cause Analysis*

Abstrak. *UMKM produksi tempe di Desa Jambangan mengalami downtime tinggi akibat sistem perawatan yang masih bersifat corrective maintenance dengan 33 kejadian kerusakan. Penelitian ini bertujuan menganalisis keandalan mesin dan menentukan interval preventive maintenance optimal menggunakan metode Reliability Centered Maintenance (RCM). Data diolah menjadi Time to Failure (TTF), dianalisis menggunakan distribusi Weibull, serta dihitung MTTF dan hazard rate. Hasil menunjukkan kedua mesin berada pada fase wear-out ($\beta > 1$), dengan Mesin 2 lebih andal dibandingkan Mesin 1. Dengan batas reliabilitas minimum $R(t) \geq 0,80$, diperoleh interval optimal 55,9 jam (Mesin 1) dan 75,3 jam (Mesin 2). Penerapan interval ini meningkatkan reliabilitas dari 0,514 menjadi 0,80 (28,6%) dan dari 0,628 menjadi 0,80 (17,2%). Selain itu, secara teoritis mampu menurunkan potensi kegagalan hingga 20% serta meningkatkan stabilitas operasional mesin.*

Kata Kunci – *Reliability Centered Maintenance (RCM), Distribusi Weibull, Preventive Maintenance, Analisis Reliabilitas, Root Cause Analysis*

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

UMKM produksi tempe di Desa Jambangan, Kecamatan Candi, Kabupaten Sidoarjo sangat bergantung pada mesin penggiling kedelai sebagai mesin utama dalam proses produksi. Mesin ini beroperasi secara kontinyu dan berperan sebagai tulang punggung proses produksi, sehingga tingkat keandalannya sangat menentukan kelancaran operasi serta efektivitas *output* yang dihasilkan. Berdasarkan data kerusakan selama periode Januari–November 2025, tercatat total 33 kejadian kerusakan pada dua unit mesin penggiling kedelai, dengan Mesin 1 mengalami 19 kejadian dan Mesin 2 sebanyak 14 kejadian. Komponen yang paling sering mengalami gangguan meliputi motor penggerak, silinder giling, pelat *stainless*, *pulley*, *belt*, kerangka mesin, *hopper*, dan *feeder*.

Pendekatan perawatan yang diterapkan saat ini masih bersifat reaktif atau *corrective maintenance*, yaitu perbaikan dilakukan setelah kerusakan terjadi. Pola perawatan ini berpotensi meningkatkan biaya pemeliharaan, memperpendek umur pakai mesin, serta menimbulkan gangguan terhadap jadwal produksi[1][2]. Secara teoritis, berbagai metode perawatan dapat diterapkan untuk meningkatkan keandalan mesin, di antaranya *Preventive Maintenance* (PM), *Total Productive Maintenance* (TPM), dan *Condition-Based Maintenance* (CBM). Namun demikian, penerapan TPM dan CBM membutuhkan keterlibatan sumber daya manusia yang intensif serta dukungan teknologi pemantauan kondisi yang relatif mahal, sehingga kurang sesuai diterapkan pada skala UMKM[3].

Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) mampu meningkatkan keandalan mesin dan menekan *downtime* secara signifikan. Penelitian terdahulu melaporkan bahwa penerapan RCM dapat menentukan interval perawatan optimal pada komponen kritis sehingga kestabilan proses produksi meningkat[4]. Penelitian lain menunjukkan peningkatan nilai keandalan subsistem mesin dari 43% menjadi 56% setelah penerapan RCM[3]. Selain itu penelitian lain juga membuktikan bahwa RCM mampu menurunkan biaya pemeliharaan hingga 16,13% melalui penentuan interval penggantian komponen yang terukur[5]. Temuan tersebut menunjukkan bahwa RCM lebih unggul dibandingkan metode perawatan konvensional dalam perencanaan pemeliharaan yang sistematis dan berbasis risiko.

Pendekatan RCM berfokus pada pengungkapan fungsi utama sistem, identifikasi berbagai kemungkinan cara kegagalan terjadi, serta penilaian terhadap dampak dan konsekuensi yang ditimbulkan. Berdasarkan hasil identifikasi tersebut, langkah selanjutnya adalah menentukan strategi pemeliharaan yang optimal dan efisien dengan mengutamakan tingkat risiko sebagai dasar penentuan prioritas. Namun, sebelum strategi RCM ditetapkan, analisis reliabilitas mesin diperlukan sebagai landasan ilmiah untuk memprediksi probabilitas mesin dapat beroperasi tanpa kegagalan dalam jangka waktu tertentu dengan menggunakan model distribusi probabilitas seperti *Weibull*, Eksponensial, dan Normal[6][7]. Oleh karena itu, penelitian ini menerapkan pendekatan RCM yang diawali dengan analisis distribusi kegagalan untuk menentukan model reliabilitas terbaik pada mesin penggiling kedelai, yang selanjutnya digunakan sebagai dasar perancangan strategi perawatan preventif yang optimal bagi UMKM Produksi Tempe di Desa Jambangan. dengan tujuan meningkatkan tingkat keandalan mesin, meminimalkan *downtime*, serta menekan risiko kegagalan mendadak guna mendukung keberlanjutan dan efisiensi operasional usaha.

II. METODE

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada UMKM produksi tempe yang berlokasi di Desa Jambangan, Kecamatan Candi, Kabupaten Sidoarjo. Pelaksanaan penelitian berlangsung selama enam bulan, mulai dari Oktober 2025 hingga Maret 2026. Objek dari penelitian ini ialah dua unit mesin penggiling kedelai yang digunakan dalam proses produksi harian.

B. Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder yang dimanfaatkan untuk tahap pengolahan dan analisis data.

1. Data Primer

Data primer diperoleh melalui observasi langsung di lokasi penelitian yang meliputi wawancara dan pencatatan kondisi operasional mesin.

- Wawancara: Wawancara dilakukan kepada pemilik UMKM dan operator mesin untuk memperoleh informasi mengenai pola operasi mesin penggiling kedelai, jenis kerusakan yang sering terjadi, komponen kritis, durasi perbaikan, serta sistem perawatan yang selama ini diterapkan.
- Observasi Lapangan: Observasi dilakukan untuk mengidentifikasi kondisi aktual mesin, proses produksi, prosedur perawatan, serta kejadian kegagalan yang muncul selama periode penelitian. Hasil observasi digunakan sebagai dasar dalam penyusunan data histori kerusakan dan analisis *Reliability Centered Maintenance*[8].

2. Data Sekunder

Data sekunder diperoleh melalui dokumentasi internal UMKM dan studi literatur yang mencakup histori kerusakan mesin, *downtime*, waktu antar kerusakan (*Time to Failure/TTF*), waktu perbaikan, frekuensi kegagalan, nilai parameter distribusi (β dan η), serta catatan perawatan mesin. Data tersebut digunakan sebagai dasar dalam analisis reliabilitas, perhitungan *hazard rate*, *Mean Time To Failure* (MTTF), dan penentuan interval *preventive maintenance*.

C. Analisis Reliabilitas

Analisis reliabilitas digunakan untuk menentukan pola kegagalan dan tingkat keandalan mesin penggiling kedelai berdasarkan data histori *downtime*. Data waktu antar kegagalan dikonversi menjadi *Time to Failure* (TTF) yang dihitung sebagai selisih waktu antara dua kejadian kegagalan berturut-turut. Data TTF dianalisis menggunakan tiga distribusi probabilitas, yaitu *Weibull*, eksponensial, dan normal. Pemilihan distribusi terbaik dilakukan berdasarkan uji *goodness-of-fit* menggunakan statistik *Anderson-Darling* pada perangkat lunak *Minitab*.

1. Fungsi reliabilitas secara umum dinyatakan sebagai:

$$R(t)=P(T>t) \dots \dots \dots (1)$$

Sumber:[9][10].

2. Untuk distribusi *Weibull*, fungsi reliabilitas dinyatakan sebagai:

$$R(t)=\exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right] \dots \dots \dots (2)$$

Sumber:[9][11].

Nilai *Mean Time To Failure* (MTTF) distribusi Weibull dihitung dengan:

$$MTTF = \eta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \dots \dots \dots (3)$$

Sumber:[9][11].

Laju kegagalan (*hazard rate*) distribusi Weibull dirumuskan sebagai:

$$h(t) = \left(\frac{\beta}{\eta}\right) \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \dots \dots \dots (4)$$

Sumber:[11][12].

3. Untuk distribusi Eksponensial, fungsi reliabilitas dinyatakan sebagai:

$$R(t) = e^{-\lambda} \dots \dots \dots (5)$$

Sumber:[13][14].

Dengan nilai *Mean Time To Failure*:

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \dots \dots \dots (6)$$

Sumber:[13][14].

Laju kegagalan distribusi Eksponensial dinyatakan sebagai:

$$h(t) = \lambda \dots \dots \dots (7)$$

Sumber:[12][15].

4. Untuk distribusi Normal, fungsi reliabilitas dinyatakan sebagai:

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \dots \dots \dots (8)$$

Sumber:[16][17].

Dengan nilai *Mean Time To Failure*:

$$MTTF = \mu \dots \dots \dots (9)$$

Sumber:[16][17].

Laju kegagalan distribusi Normal dinyatakan sebagai:

$$h(t) = \frac{f(t)}{1 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)} \dots \dots \dots (10)$$

Sumber:[16][17].

D. Root Cause Analysis (RCA)

Root Cause Analysis (RCA) digunakan dalam penelitian ini untuk menelusuri penyebab mendasar dari kegagalan dominan pada mesin penggiling kedelai yang telah diidentifikasi melalui data histori *downtime* dan hasil analisis reliabilitas. RCA berperan sebagai tahap pendukung dalam metode *Reliability Centered Maintenance* untuk memastikan bahwa tindakan perawatan yang dirancang tidak hanya bersifat reaktif, tetapi mampu mengatasi sumber utama terjadinya kegagalan. Pendekatan 5 *Whys* diterapkan untuk menguraikan hubungan sebab akibat dari setiap *failure mode* hingga diperoleh akar permasalahan teknis maupun operasional. Hasil RCA dimanfaatkan sebagai dasar dalam penentuan jenis tindakan korektif dan preventif, penyesuaian prosedur operasi dan perawatan, serta perancangan *interval* perawatan yang lebih efektif guna menurunkan frekuensi *downtime* mesin.

E. Reliability Centered Maintenance (RCM)

Reliability Centered Maintenance (RCM) digunakan dalam penelitian ini sebagai kerangka sistematis untuk menentukan strategi perawatan mesin penggiling kedelai berdasarkan hasil analisis reliabilitas dan *Root Cause Analysis*. Metode ini membantu memilih jenis tindakan perawatan yang paling tepat agar frekuensi kegagalan dan *downtime* dapat dikurangi[10]. Tahapan RCM meliputi identifikasi fungsi mesin, penentuan kegagalan fungsional, identifikasi *failure mode*, analisis penyebab kegagalan menggunakan RCA, analisis konsekuensi kegagalan, serta pemilihan kebijakan perawatan yang sesuai, seperti perawatan berbasis waktu, berbasis kondisi, atau perancangan ulang bila diperlukan.

F. Penentuan Interval Perawatan Preventif

Penentuan *interval* perawatan preventif dilakukan berdasarkan fungsi reliabilitas dengan menetapkan batas minimum tingkat keandalan yang diinginkan R. Nilai R merepresentasikan tingkat keandalan minimum mesin sebelum dilakukan tindakan perawatan guna mencegah terjadinya kegagalan selama operasi. Model distribusi kegagalan yang digunakan dalam perhitungan *interval* perawatan ditentukan terlebih dahulu melalui uji *goodness-of-fit* menggunakan *Minitab*. Hanya distribusi dengan tingkat kecocokan terbaik yang digunakan untuk menghitung waktu perawatan preventif optimal t_p .

1. Untuk distribusi Weibull, *interval* perawatan dihitung dengan:

$$t_p = \eta [-\ln(R)]^{1/\beta} \dots \dots \dots (11)$$

Sumber:[18][19].

dengan:

η = parameter skala,

β = parameter bentuk.

2. Untuk distribusi eksponensial, *interval* perawatan dihitung dengan:

$$tp = -\frac{\ln(R)}{\lambda} \dots\dots\dots(12)$$

Sumber:[18][19].

dengan:
 λ = laju kegagalan.

3. Untuk distribusi normal, *interval* perawatan diperoleh dari fungsi distribusi kumulatif, sehingga nilai *tp* ditentukan dengan:

$$tp = \mu + zR \sigma \dots\dots\dots(13)$$

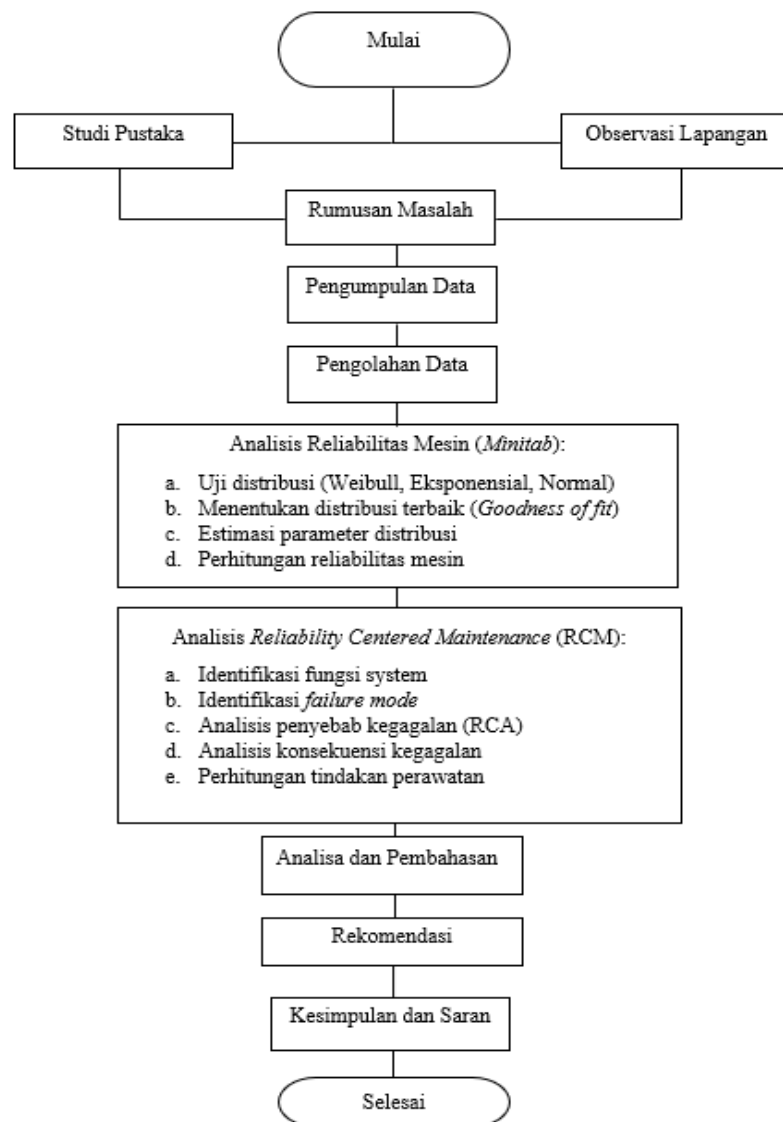
Sumber:[18][20].

dengan:
 μ = nilai rata-rata waktu kegagalan
 σ = simpangan baku
 zR = nilai baku distribusi normal yang sesuai dengan tingkat keandalan R.

Nilai *tp* yang diperoleh dari distribusi terpilih setelah melalui uji *goodness-of-fit* diterapkan sebagai landasan untuk merancang jadwal inspeksi periodik, pelumasan teratur, serta penggantian komponen utama pada mesin penggiling kedelai dalam kerangka strategi perawatan preventif yang diajukan.

Alur Penelitian

Berikut ini akan disajikan tahapan atau alur penelitian dalam pelaksanaan penelitian yang dapat dilihat pada **Gambar 1.** di bawah ini.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Dari **Gambar 1** di atas, dapat diketahui bahwa penelitian ini diawali dengan studi literatur terkait konsep keandalan mesin dan *Reliability Centered Maintenance* serta dilakukan observasi langsung terhadap kondisi

operasional mesin penggiling kedelai di UMKM. Selanjutnya dilakukan perumusan permasalahan utama yang menjadi fokus penelitian dan penetapan tujuan penelitian secara jelas dan terukur. Pengumpulan data dilakukan melalui wawancara dengan operator serta pencatatan histori downtime dan kerusakan mesin. Data tersebut kemudian diolah menjadi *Time to Failure* (TTF) dan dianalisis menggunakan uji distribusi kegagalan untuk menentukan model probabilitas terbaik. Tahap berikutnya adalah perhitungan parameter reliabilitas dan penentuan interval perawatan preventif berdasarkan distribusi terpilih. Selanjutnya dilakukan penerapan *Root Cause Analysis* untuk mengidentifikasi penyebab utama kegagalan dominan, yang kemudian digunakan dalam tahapan *Reliability Centered Maintenance* untuk mengevaluasi fungsi sistem, kegagalan fungsional, *failure mode*, serta konsekuensi kegagalan. Berdasarkan hasil tersebut disusun strategi perawatan preventif yang paling sesuai. Tahap akhir penelitian adalah penarikan kesimpulan dan penyusunan rekomendasi perbaikan sistem perawatan mesin.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. *Data Time To Failure* (TTF)

Data Time to Failure (TTF) diperoleh dari histori *downtime* dua unit mesin penggiling kedelai selama periode pengamatan. Data ini merepresentasikan selang waktu operasi mesin sejak perbaikan terakhir hingga terjadinya kegagalan berikutnya. Jumlah data yang dianalisis disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Jumlah *Data Time to Failure*

Mesin	Jumlah Data (N)
Mesin 1	19
Mesin 2	14

Berdasarkan **Tabel 1**, Data TTF ini digunakan sebagai dasar dalam analisis statistik, pengujian distribusi kegagalan, perhitungan reliabilitas, penentuan interval preventive maintenance, serta penyusunan strategi *Reliability Centered Maintenance*. Setelah diketahui jumlah data kerusakan pada masing-masing mesin, langkah selanjutnya adalah menyajikan data kejadian kerusakan secara detail dalam bentuk *Time To Failure* (TTF). Data ini menggambarkan selang waktu antar kerusakan yang menjadi dasar dalam analisis reliabilitas. Adapun data lengkap TTF dapat dilihat pada **Tabel 2**. Dan **Tabel 3** berikut.

Tabel 2. *Data Time To Failure* (TTF) Mesin 1

No	Bulan	TTF Mesin 1 (jam)
1	Jan	208
2	Feb	208
3	Mar	104
4	Mar	104
5	Apr	104
6	Apr	104
7	Mei	208
8	Jun	208
9	Jul	52
10	Jul	52
11	Jul	52
12	Jul	52
13	Agt	208
14	Okt	104
15	Okt	104
16	Nov	52
17	Nov	52
18	Nov	52
19	Nov	52

Tabel 3. *Data Time To Failure* (TTF) Mesin 2

No	Bulan	TTF Mesin 2 (jam)
1	Feb	104
2	Feb	104

3	Apr	104
4	Apr	104
5	Mei	208
6	Jul	104
7	Jul	104
8	Agt	104
9	Agt	104
10	Sep	69,33
11	Sep	69,33
12	Sep	69,33
13	Okt	208
14	Nov	208

Berdasarkan **Tabel 2** dan **Tabel 3**, terlihat bahwa interval waktu antar kerusakan (*Time To Failure*) pada kedua mesin memiliki nilai yang bervariasi. Variasi ini menunjukkan bahwa pola kegagalan tidak konstan dan perlu dianalisis lebih lanjut menggunakan metode statistik. Data TTF tersebut kemudian digunakan sebagai dasar dalam perhitungan statistik deskriptif, pengujian distribusi, serta analisis reliabilitas.

B. Uji Distribusi Kegagalan Menggunakan Minitab

Penentuan distribusi terbaik dilakukan menggunakan fasilitas *Distribution Analysis* pada perangkat lunak *Minitab* dengan pendekatan *goodness-of-fit Anderson-Darling* terhadap tiga kandidat distribusi, yaitu *Weibull*, Eksponensial, dan Normal. Nilai *Anderson-Darling (adjusted)* yang diperoleh dari *Minitab* disajikan pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Statistik Deskriptif Data TTF

Mesin	Weibull	Eksponensial	Normal
M1	1,683	2,380	1,932
M2	1,769	3,112	1,958

Berdasarkan hasil uji *goodness-of-fit* menggunakan perangkat lunak *Minitab* dengan metode *Anderson-Darling*, distribusi *Weibull* terpilih sebagai model terbaik untuk kedua mesin karena memiliki nilai AD paling kecil, yaitu sebesar 1,683 pada Mesin 1 dan 1,769 pada Mesin 2. Oleh karena itu, distribusi *Weibull* digunakan dalam perhitungan fungsi reliabilitas $R(t)$, estimasi parameter keandalan, serta penentuan *interval preventive maintenance* pada kedua mesin.

C. Statistik Deskriptif Data TTF (Minitab)

Tahap awal analisis data dilakukan dengan bantuan *software Minitab* guna menentukan parameter statistik deskriptif, yang mencakup nilai rata-rata (μ), standar deviasi (σ), median, nilai terkecil dan terbesar, serta ukuran kemencengan (skewness) dan keruncingan (kurtosis). Ringkasan hasil perhitungan melalui *Minitab* tersebut dapat dilihat pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Nilai *Anderson-Darling*

Mesin	Mean μ (jam)	StDev σ (jam)	Median	Min	Max	Skewness	Kurtosis
M1	109,474	64,6111	104	52	208	0,751017	-1,08633
M2	118,856	50,3557	104	69,33	208	1,21907	0,115746

Berdasarkan hasil tersebut menunjukkan bahwa Mesin 2 memiliki tingkat keandalan lebih baik daripada Mesin 1 karena memiliki nilai rata-rata TTF yang lebih tinggi dan variasi kegagalan yang lebih kecil.

D. Analisis Reliabilitas

Berdasarkan hasil uji *goodness-of-fit* menggunakan perangkat lunak *Minitab*, distribusi *Weibull 2-Parameter* terpilih sebagai model terbaik untuk kedua mesin. Parameter yang diperoleh dapat dilihat pada **Tabel 6** berikut:

Tabel 6. Nilai Parameter *Shape* (β) dan *Scale* (η) Distribusi *Weibull*

Mesin	Shape (β)	Scale (η) (jam)
M1	1,87827	124,29834
M2	2,59595	134,29212

fungsi reliabilitas distribusi *Weibull* dinyatakan sebagai:

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right]$$

Sumber: [9][11].

Perhitungan reliabilitas pada waktu operasi 100 jam dilakukan sebagai berikut:

Mesin 1:

$$R_1(100) = \exp\left[-\left(\frac{100}{124,29834}\right)^{1,87827}\right]$$

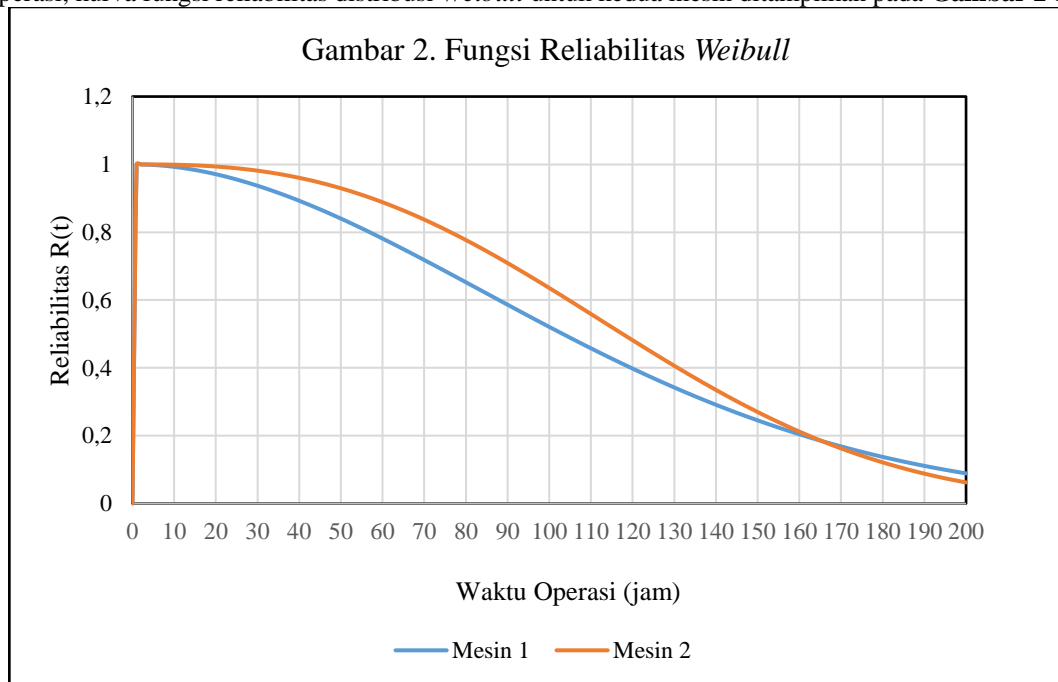
$$R_1(100)=0,514$$

Mesin 2:

$$R_2(100)=\exp\left[-\left(\frac{100}{134,29212}\right)^{2,59595}\right]$$

$$R_2(100)=0,628$$

Nilai 100 jam dipilih sebagai waktu evaluasi reliabilitas karena merepresentasikan horizon operasi sebelum mencapai umur karakteristik (η) serta digunakan sebagai titik pembandingan kinerja kedua mesin pada *interval* operasi yang sama dan hasil menunjukkan bahwa probabilitas Mesin 2 tetap beroperasi hingga 100 jam lebih tinggi dibandingkan Mesin 1. Untuk memberikan gambaran visual mengenai pola penurunan keandalan mesin terhadap waktu operasi, kurva fungsi reliabilitas distribusi *Weibull* untuk kedua mesin ditampilkan pada **Gambar 2** berikut.



Gambar 2. Kurva Fungsi Reliabilitas *Weibull* Antara Mesin 1 dan Mesin 2

Gambar 2 memperlihatkan kurva keandalan *Weibull* untuk Mesin 1 dan Mesin 2. Nilai reliabilitas keduanya mengalami penurunan seiring bertambahnya waktu operasi. Namun, kurva Mesin 2 tampak lebih landai dibandingkan Mesin 1, yang menunjukkan bahwa pada waktu yang sama Mesin 2 memiliki probabilitas bertahan yang lebih besar. Kondisi ini sejalan dengan nilai parameter $\beta > 1$ yang menandakan mesin berada pada tahap keausan (*wear-out*), di mana kemungkinan terjadinya kegagalan meningkat akibat penurunan kondisi komponen.

E. Laju Kegagalan (*Hazard Rate*)

Laju kegagalan (*hazard rate*) digunakan untuk mengetahui tingkat risiko kegagalan mesin pada waktu operasi tertentu. Pada distribusi *Weibull* 2-parameter, fungsi laju kegagalan dinyatakan sebagai:

$$h(t) = \left(\frac{\beta}{\eta}\right) \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1}$$

Sumber:[11][12].

dengan β yang menyatakan parameter bentuk (*shape*), η sebagai parameter skala (*scale*), serta t sebagai durasi operasi (*jam*).

Perhitungan dilakukan pada $t = 100$ jam sebagai titik penilaian performa kedua mesin.

Perhitungan Mesin 1 (M1)

Diketahui:

$$\beta_1=1,87827$$

$$\eta_1=124,29834$$

$$t=100 \text{ Jam}$$

Langkah perhitungan:

$$\frac{\beta}{\eta} = \frac{1,87827}{124,29834} = 0,01511$$

$$\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} = \left(\frac{100}{124,29834}\right)^{0,87827} = (0,8045)^{0,87827} = 0,8261$$

$$h_1(100)=0,01511 \times 0,8261$$

$$h_1(100)=0,0125$$

Perhitungan Mesin 2 (M2)

Diketahui:

$$\beta_2=2,59595$$

$$\eta_2=134,29212$$

$$t=100 \text{ Jam}$$

Langkah perhitungan:

$$\frac{\beta}{\eta} = \frac{2,59595}{134,29212} = 0,01933$$

$$\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} = \left(\frac{100}{134,29212}\right)^{1,59595} = (0,7446)^{1,59595} = 0,6247$$

$$h_2(100) = 0,01933 \times 0,6247$$

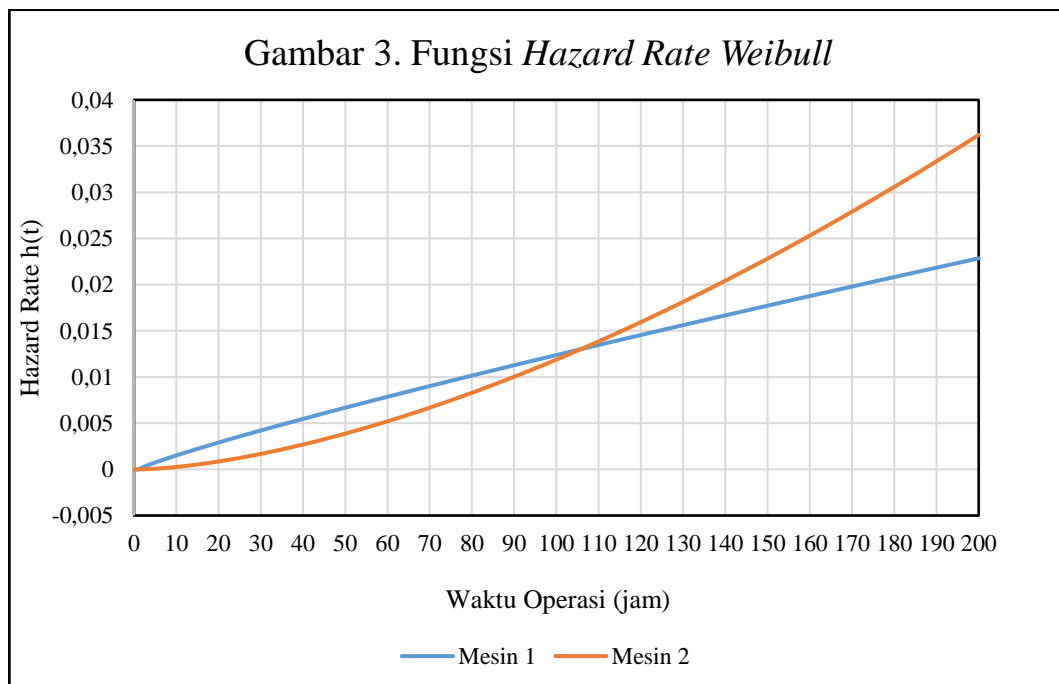
$$h_2(100) = 0,0121$$

Hasil perhitungan pada $t = 100$ jam dapat dilihat pada **Tabel 6** berikut:

Tabel 6 Hasil Perhitungan Laju Kegagalan pada 100 Jam Operasi.

Mesin	$h(100)$
M1	0,0151
M2	0,0124

Nilai $h(100)$ pada **Tabel 6** menunjukkan laju kegagalan mesin pada waktu operasi 100 jam, yaitu sebesar $0,0151 \text{ jam}^{-1}$ untuk Mesin 1 dan $0,0124 \text{ jam}^{-1}$ untuk Mesin 2. Satuan jam^{-1} menyatakan bahwa nilai laju kegagalan tersebut merepresentasikan peluang kegagalan mesin per satuan waktu operasi (per jam) dengan asumsi mesin masih beroperasi hingga waktu tersebut. Dengan demikian, Mesin 1 memiliki peluang kegagalan sebesar 1,51% per jam, sedangkan Mesin 2 sebesar 1,24% per jam pada waktu operasi 100 jam, sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 3** berikut:



Gambar 3. Kurva Hazard Rate Weibull Mesin 1 dan Mesin 2

Gambar 3 menunjukkan bahwa laju kegagalan meningkat secara progresif terhadap waktu operasi. Hal ini mengindikasikan bahwa mesin berada pada fase *wear-out*, di mana risiko kegagalan semakin besar pada jam operasi tinggi. Mesin 2 memperlihatkan kenaikan *hazard rate* yang lebih tajam dibandingkan Mesin 1 pada periode akhir operasi.

F. Mean Time To Failure (MTTF)

Mean Time To Failure (MTTF) merupakan nilai rata-rata waktu hingga terjadinya kegagalan pada suatu komponen atau sistem. Pada distribusi Weibull 2-parameter, MTTF dihitung menggunakan rumus:

$$MTTF = \eta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$$

Sumber:[9][11].

dengan:

η = parameter skala (*scale*)

β = parameter bentuk (*shape*)

Γ = fungsi Gamma

Perhitungan Mesin 1 (M1)

Diketahui

$$\beta_1 = 1,87827$$

$$\eta_1 = 124,29834$$

Langkah 1: Hitung $1 + \frac{1}{\beta}$

$$1 + \frac{1}{1,87827}$$

$$= 1 + 0,5324$$

$$= 1,5324$$

Langkah 2: Nilai Fungsi Gamma

$$\Gamma(1,5324) = 0,8877$$

Langkah 3: Hitung MTTF

$$MTTF_1 = 124,29834 \times 0,8877$$

$$MTTF_1 = 110,34 \text{ jam}$$

Perhitungan Mesin 2 (M2)

Diketahui

$$\beta_2 = 2,59595$$

$$\eta_2 = 134,29212$$

Langkah 1: Hitung $1 + \frac{1}{\beta}$

$$1 + \frac{1}{2,59595}$$

$$= 1 + 0,3852$$

$$= 1,3852$$

Langkah 2: Nilai Fungsi Gamma

$$\Gamma(1,3852) = 0,8882$$

Langkah 3: Hitung MTTF

$$MTTF_2 = 134,29212 \times 0,8882$$

$$MTTF_2 = 119,27 \text{ jam}$$

Hasil perhitungan dapat dilihat pada **Tabel 7** berikut:

Tabel 7. Hasil Perhitungan *Mean Time To Failure* Distribusi Weibull

Mesin	MTTF (jam)
M1	110,34
M2	119,27

Hasil menunjukkan bahwa Mesin 2 memiliki rata-rata waktu kegagalan lebih lama dibandingkan Mesin 1. Karena nilai β pada kedua mesin lebih dari 1 (menunjukkan tahap *wear-out*), MTTF merepresentasikan rata-rata masa operasi sebelum probabilitas kerusakan meningkat akibat keausan komponen. Besaran ini dapat dimanfaatkan sebagai acuan dalam menetapkan jadwal *preventive maintenance* yang optimal.

G. *Root Cause Analysis* (RCA)

Analisis akar penyebab kegagalan dilakukan menggunakan metode 5 *Whys* berdasarkan data historis kerusakan dan observasi operasional, untuk hasilnya dapat dilihat pada **Tabel 8** dan **Tabel 9** berikut:

Tabel 8. Hasil Analisis RCA Mesin 1

Tahapan Analisis	Uraian
Masalah	<i>Downtime</i> tinggi pada sistem transmisi
<i>Why</i> 1	Komponen transmisi mengalami keausan
<i>Why</i> 2	Pelumasan tidak optimal
<i>Why</i> 3	Jadwal pelumasan tidak terstandarisasi
<i>Why</i> 4	Belum ada <i>preventive maintenance</i> berbasis reliabilitas
Akar Penyebab	Tidak adanya sistem perawatan berbasis data keandalan

Tabel 9. Hasil Analisis RCA Mesin 2

Tahapan Analisis	Uraian
Masalah	Gangguan <i>bearing</i> dan <i>misalignment</i> poros
<i>Why</i> 1	Terjadi getaran berlebih
<i>Why</i> 2	Poros tidak sejajar (<i>misalignment</i>)
<i>Why</i> 3	Inspeksi <i>alignment</i> tidak dilakukan berkala
<i>Why</i> 4	Tidak ada <i>interval</i> perawatan terstandar

Akar Penyebab

Kurangnya prosedur inspeksi dan *alignment* berkala

Berdasarkan analisis 5 *Whys*, akar masalah kedua mesin terletak pada sistem perawatan yang belum terstandarisasi dan tidak berbasis data keandalan. Mesin 1 mengalami *downtime* tinggi akibat keausan komponen karena pelumasan tidak terjadwal, sedangkan Mesin 2 mengalami gangguan *bearing* dan *misalignment* karena tidak adanya inspeksi serta *alignment* berkala. Kegagalan umumnya dipicu oleh kelemahan manajemen perawatan, sehingga diperlukan penerapan *preventive maintenance* berbasis reliabilitas dengan standar inspeksi dan pelumasan terjadwal untuk mengurangi *downtime*.

H. Penentuan *Interval Preventive Maintenance*

Karena kedua mesin berada pada fase *wear-out* ($\beta > 1$), maka strategi yang sesuai adalah *preventive maintenance* berbasis interval waktu. *Interval* ditentukan pada tingkat reliabilitas 80% ($R(t)=0,80$) menggunakan rumus:

$$t = \eta(-\ln 0,80)1/\beta$$

Diketahui:

$$-\ln(0,80) = 0,2231$$

Perhitungan Mesin 1 (M1)

Diketahui

$$\beta_1 = 1,87827$$

$$\eta_1 = 124,29834$$

Langkah 1: Hitung pangkat $1/\beta$

$$\frac{1}{1,87827} = 0,5324$$

Langkah 2: Hitung nilai dalam kurung

$$(0,2231)^{0,5324} = 0,450$$

Langkah 3: Hitung *interval*

$$t_1 = 124,29834 \times 0,450$$

$$t_1 = 55,9 \text{ jam}$$

Konversi ke hari (8 jam/hari)

$$55,9/8 = 6,9 \text{ hari atau dibulatkan menjadi 7 hari}$$

Perhitungan Mesin 2 (M2)

Diketahui

$$\beta_2 = 2,59595$$

$$\eta_2 = 134,29212$$

Langkah 1: Hitung pangkat $1/\beta$

$$\frac{1}{2,59595} = 0,3852$$

Langkah 2: Hitung nilai dalam kurung

$$(0,2231)^{0,3852} = 0,561$$

Langkah 3: Hitung *interval*

$$t_2 = 134,29212 \times 0,561$$

$$t_2 = 75,3 \text{ jam}$$

Konversi ke hari (8 jam/hari)

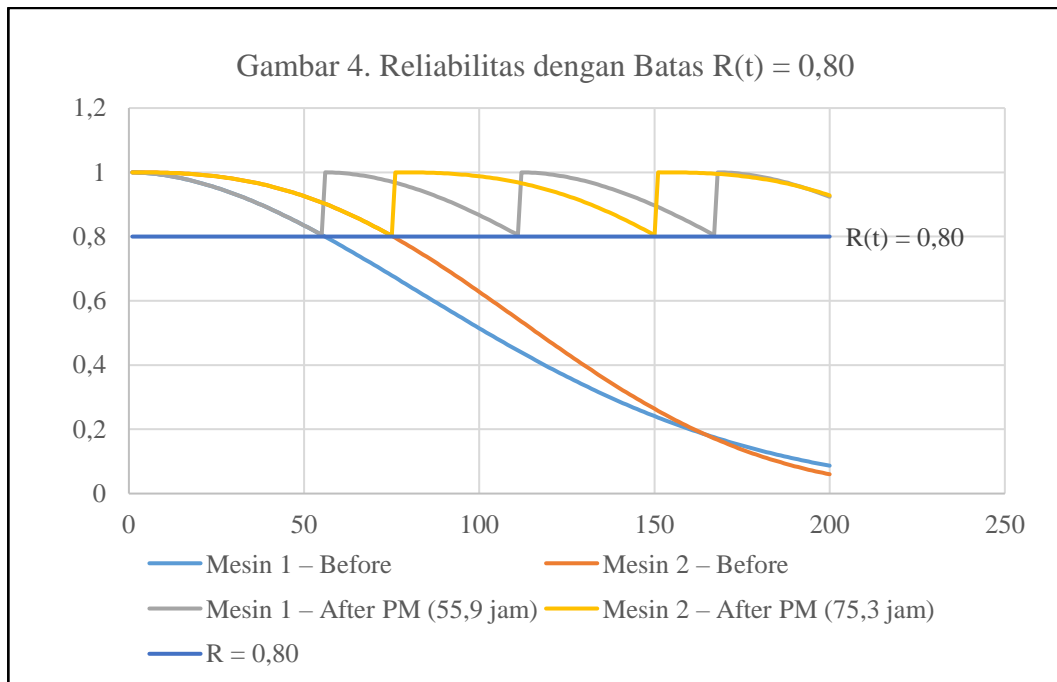
$$75,3/8 = 9,4 \text{ hari atau dibulatkan menjadi 9 hari}$$

Hasil perhitungan yang diperoleh dapat dilihat pada **Tabel 10** berikut:

Tabel 10. Hasil Perhitungan Penentuan *Interval Preventive Maintenance*

Mesin	<i>Interval</i> (jam)	Konversi (8 jam/hari)	Rekomendasi <i>Interval</i>
M1	55,9	6,9 hari	7 hari
M2	75,3	9,4 hari	9 hari

Hasil analisis menunjukkan bahwa untuk menjaga reliabilitas minimal $\geq 80\%$ ($R(t) \geq 0,80$), *preventive maintenance* perlu dilakukan sebelum 55,9 jam pada Mesin 1 dan 75,3 jam pada Mesin 2 yang setara dengan jadwal setiap 7 hari dan 9 hari (asumsi 8 jam/hari), di mana penerapan interval ini terbukti mampu mempertahankan keandalan di atas batas minimum, ditunjukkan oleh perbandingan kurva *before PM* yang turun di bawah 80% dan *after PM* yang meningkat secara periodik, sekaligus meningkatkan kinerja reliabilitas sebesar 28,6% pada Mesin 1 dan 17,2% pada Mesin 2, yang diperoleh dari perbandingan nilai reliabilitas sebelum penerapan *preventive maintenance* (*before PM*) dengan nilai reliabilitas setelah penerapan *preventive maintenance* (*after PM*) yang telah mencapai batas standar 0,80, sehingga menunjukkan adanya peningkatan signifikan dari kondisi awal menuju kondisi yang lebih andal, sehingga metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) terbukti efektif dalam menentukan *interval* perawatan optimal, mengurangi risiko kerusakan mendadak, dan menekan *downtime* produksi, dapat dilihat pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Penentuan *Interval Preventive Maintenance* pada $R(t) = 0,80$.

I. Rekomendasi

Berdasarkan hasil penelitian, disarankan agar UMKM menerapkan *preventive maintenance* berbasis reliabilitas secara konsisten dengan *interval* 55,9 jam (7 hari) untuk Mesin 1 dan 75,3 jam (9 hari) untuk Mesin 2 guna menjaga tingkat keandalan tetap $\geq 80\%$ dan mencegah peningkatan risiko kegagalan akibat fase *wear-out*. Selain itu, perlu disusun Standar Operasional Prosedur (SOP) perawatan yang terstandarisasi yang mencakup jadwal pelumasan rutin, inspeksi berkala pada komponen kritis, serta pengecekan *alignment* untuk mencegah keausan dan *misalignment* yang menjadi penyebab utama kerusakan. Pencatatan histori perawatan dan kerusakan juga perlu dilakukan secara berkala sebagai dasar evaluasi dan pengambilan keputusan berbasis data. Dengan penerapan langkah tersebut, diharapkan *downtime* dapat ditekan, risiko kerusakan mendadak berkurang, serta efisiensi dan stabilitas operasional mesin dapat meningkat.

IV. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, sistem perawatan *corrective maintenance* yang diterapkan sebelumnya belum mampu menjaga keandalan mesin secara optimal, karena kedua mesin berada pada fase *wear-out* ($\beta > 1$) dengan risiko kegagalan yang meningkat. Dengan menetapkan standar reliabilitas minimum $R(t) \geq 0,80$, diperoleh *interval preventive maintenance* optimal sebesar 55,9 jam (7 hari) untuk Mesin 1 dan 75,3 jam (9 hari) untuk Mesin 2, yang terbukti meningkatkan reliabilitas masing-masing sebesar 28,6% dan 17,2% serta menurunkan potensi kegagalan hingga 20%. Oleh karena itu, disarankan agar UMKM menerapkan jadwal *preventive maintenance* secara konsisten, menyusun SOP perawatan yang terstandarisasi, serta melakukan pencatatan data perawatan secara berkala guna mendukung peningkatan keandalan dan efisiensi operasional.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Universitas Muhammadiyah Sidoarjo dan UMKM Produksi Tempe sebagai tempat pelaksanaan penelitian.

REFERENSI

- [1] R. C. M. Di and P. Terbatas, "SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW : PEMELIHARAAN MESIN DENGAN METODE RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE," vol. 11, no. 01, pp. 1–7, 2023.
- [2] V. Issue, J. T. Juwandono, and J. Purnama, "JUTIN : Jurnal Teknik Industri Terintegrasi Analisa Pemeliharaan Mesin Produksi dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) dan Age Replacement," vol. 6, no. 3, pp. 483–491, 2023.

- [3] H. H. Azwir, A. I. Wicaksono, and H. Oemar, "Manajemen Perawatan Menggunakan Metode RCM Pada Mesin Produksi Kertas," *J. Optimasi Sist. Ind.*, vol. 19, no. 1, pp. 12–21, 2020, doi: 10.25077/josi.v19.n1.p12-21.2020.
- [4] 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.
- [5] M. I. Mustajib, R. M. Yusron, and U. Albab, "Optimal Replacement Interval Based on Reliability Centered Maintenance: A Case Study of Indonesian Railroad Company," *J. Tek. Ind.*, vol. 26, no. 1, pp. 143–160, 2025, [Online]. Available: <http://ejournal.umm.ac.id/index.php/industri>.<https://doi.org/10.22219/JTIUMM.Vol26.No1.143-160>
- [6] Z. Li, H. Fu, and J. Guo, "Reliability Assessment of a Series System with Weibull-Distributed Components Based on Zero-Failure Data," 2025.
- [7] Y. Qi, B. Jiang, W. Lei, Y. Zhang, and W. Yu, "Reliability Analysis of Normal , Lognormal , and Weibull Distributions on Mechanical Behavior of Wood Scrimber," 2024.
- [8] A. C. Amin, I. Apriliana, and S. Wulandari, "Optimization of City Transport Maintenance and Reliability Centered Maintenance (RCM) Methods Optimasi Perawatan Angkutan Kota dengan menggunakan metode Reliability Centered Maintenance (RCM)," pp. 1–9.
- [9] R. M. Simanungkalit, S. Suliawati, and T. Hernawati, "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: 10.56211/blendsains.v2i1.199.
- [10] B. Arianto, "Penjadwalan Ulang Penggantian Komponen Fasilitas Produksi Industri Otomotif," *Rekayasa Mutu dan Apl.*, no. i–iii, p. 72 hlm, 2024.
- [11] C. Dwilestari and D. Feriyanto, "ANALISIS RELIABILITY DAN UMUR PAKAI BEARING 6207," vol. 16, no. 1, pp. 23–36, 2025, doi: 10.21776/jrm.v16i1.1467.
- [12] Z. Sinaga and M. Ardan, "Perencanaan Perawatan Mesin Welding Mig Pada Produksi Sub Frame Di PT. XYZ Dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM)," 2021. [Online]. Available: <http://journal.uta45jakarta.ac.id/index.php/jktm/index>
- [13] Z. Sinaga, S. Solihin, and M. Ardan, "Perencanaan Perawatan Mesin Welding Mig Pada Produksi Sub Frame Di PT. XYZ Dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM)," *J. Kaji. Tek. Mesin*, vol. 6, no. 1, pp. 26–38, 2021, doi: 10.52447/jktm.v6i1.4328.
- [14] H. Hasti, W. Somayasa, and N. Muhtar, "Estimasi Parameter Distribusi Log-Normal Berdasarkan Sampel Tersensor Tipe Ii," *J. Mat. Komputasi dan Stat.*, vol. 4, no. 3, pp. 801–812, 2025, doi: 10.33772/jmks.v4i3.104.
- [15] R. Aulia, N. Salam, P. S. Matematika, D. Eksponensial, M. Momen, and M. M. Likelihood, "No Title," vol. 5, no. 2, pp. 40–52, 2011.
- [16] C. Kitsos and I. Stamatou, "On the Emerged from LSI γ - Order Generalized Normal Distribution," *J. Indian Soc. Probab. Stat.*, vol. 26, no. 2, pp. 737–762, 2025, doi: 10.1007/s41096-025-00241-z.
- [17] M. Burhannudin and M. Anshori, "Implementasi Reliability Centered Maintenance Pada Excavator Pc-800," *JISO J. Ind. Syst. Optim.*, vol. 5, no. 2, p. 143, 2022, doi: 10.51804/jiso.v5i2.143-150.
- [18] S. A. Ermanto *et al.*, "APPLICATION OF THE WEIBULL DISTRIBUTION MODEL TO ESTIMATE," vol. 6, no. 1, pp. 25–30, 2025.
- [19] E. D. Rachmawan, E. Prasetyaningsih, and R. Amaranti, "Reduksi Downtime menggunakan Preventive Maintenance Di PT XYZ," pp. 83–92, 2025.
- [20] F. P. Kristian, J. Mulyono, and H. Santosa, "Preventive Maintenance Scheduling on Belt Conveyor Using Failure Mode Effect and Criticality Analysis," vol. 23, no. 1, pp. 111–120, 2021.

Conflict of Interest Statement:

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