

PENERAPAN METODE FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS DAN RELIABILITY CENTERED MAINTANCE DALAM OPTIMASI SISTEM MAINTANCE PADA MESIN STERILIZER DI PT. PERKEBUNAN NUSANTARA IV REGIONAL II UNIT KEBUN SAWIT ADOLINA

Widya Fernanda Putri¹, David Juan Abelio Pardede², Anita Sari Sihotang³

^{1,2,3}PUI Product Design Universitas Prima Indonesia, Jl. Sampul No.3, Medan, Sumatera Utara, Indonesia

Email: widyafernandaputri28@gmail.com

Article History

Received: 10-05-2026

Revision: 27-05-2026

Accepted: 29-05-2026

Published: 31-05-2026

Abstract. The high frequency of downtime and recurring failures of critical components in the sterilizer machine at PT Perkebunan Nusantara IV Regional II, Kebun and PKS Adolina Unit, indicates that the current maintenance system is not running optimally and is still dominated by corrective maintenance. This study aims to analyze and optimize the sterilizer machine's maintenance system through the application of the Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) and Reliability Centered Maintenance (RCM) methods. The FMEA method is used to identify failure modes, their causes, and determine the risk priority level based on the Risk Priority Number (RPN). Furthermore, the RCM method is applied to determine the most appropriate maintenance strategy based on component functions and their failure consequences. This study uses a quantitative descriptive approach with a case study on the sterilizer machine at PKS Adolina, utilizing data obtained from field observations, interviews, and the company's historical data. The data analysis techniques include calculating the RPN value to determine critical components in FMEA, and performing the RCM decision logic analysis. The results show that the primary critical component failures are leakage in the exhaust packing, followed by the sterilizer door packing, and the condensate switch. The application of the RCM method generates recommendations for maintenance strategies in the form of preventive maintenance, predictive maintenance, and failure-finding maintenance. By implementing these strategies, it is expected that the downtime of the sterilizer machine can be minimized and machine reliability can be enhanced sustainably.

Keywords: Sterilizer Machine, Maintenance, FMEA, RCM, Downtime

Abstrak. Tingginya frekuensi *down time* dan kerusakan berulang pada komponen kritis mesin sterilizer di PT Perkebunan Nusantara IV Regional II Unit Kebun dan PKS Adolina menunjukkan bahwa sistem *maintenance* yang diterapkan belum optimal karena masih didominasi oleh *corrective maintenance*. *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dan *Reliability Centered Maintenance* (RCM). Metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) digunakan untuk mengidentifikasi mode kegagalan, penyebab kegagalan, serta menentukan tingkat risiko kegagalan berdasarkan nilai *Risk Priority Number* (RPN). Selanjutnya, metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) diterapkan untuk menentukan strategi perawatan yang paling tepat berdasarkan fungsi komponen dan konsekuensi kegagalannya. Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dengan studi kasus pada mesin sterilizer di PKS Adolina, dengan data yang diperoleh dari observasi lapangan, wawancara, dan data historis perusahaan. Teknik analisis data yang digunakan meliputi perhitungan nilai RPN untuk menentukan komponen kritis dalam FMEA, analisis logika keputusan RCM. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komponen kebocoran pada *packing exhaust*, diikuti oleh packing pintu rebusan dan saklar kondensat. Penerapan metode RCM menghasilkan rekomendasi strategi *maintenance* berupa *preventive maintenance*, *predictive maintenance*, dan *failure finding maintenance*. Dengan penerapan strategi tersebut, diharapkan *downtime* mesin sterilizer dapat diminimalkan dan keandalan mesin dapat ditingkatkan secara berkelanjutan.

Kata Kunci: Mesin Sterilizer, *Maintenance*, FMEA, RCM, *Downtime*

How to Cite: Putri, W. F., Pardede, D. J. A., & Sihotang, A. S. (2026). Penerapan Metode *Failure Mode and Effects Analysis* dan *Reliability Centered Maintenance* dalam Optimasi Sistem *Maintenance* pada Mesin Sterilizer di PT. Perkebunan Nusantara IV Regional II Unit Kebun Sawit Adolina. *HORIZON: Indonesian Journal of Multidisciplinary*, 4 (3), 1308-1322. <http://doi.org/10.54373/hijm.v4i3.5685>

PENDAHULUAN

Pada tahun 2024 Indonesia masih menjadi sebagai negara produsen minyak kelapa sawit terbesar di dunia dengan kontribusi sekitar 59% terhadap produksi global (USDA, 2024). Industri pengolahan kelapa sawit menjadi sektor strategis yang mendorong pertumbuhan ekonomi nasional melalui penyediaan lapangan kerja, kontribusi ekspor, serta rantai nilai industri hilir. Salah satu komponen penting dalam proses produksi minyak sawit adalah keberadaan Pabrik Kelapa Sawit (PKS), di mana berbagai mesin kritis bekerja secara terus-menerus untuk menjaga kapasitas produksi tetap optimal. Untuk itu, diperlukan sistem perawatan mesin yang efektif agar operasi pabrik berjalan stabil tanpa gangguan (Bangun et al., 2024).

Di dalam alur produksi PKS, mesin sterilizer merupakan unit awal yang sangat menentukan kualitas dan kuantitas hasil produksi. Proses sterilisasi berfungsi untuk menonaktifkan enzim lipase, melunakkan buah, serta mempermudah proses perontokan tandan pada stasiun thresher (Amalia et al., 2022). Mesin sterilizer yang bekerja dengan tekanan uap tinggi ini sangat rentan mengalami gangguan operasional apabila tidak dikelola dengan sistem pemeliharaan yang tepat. Gangguan kecil di mesin sterilizer akan berdampak langsung terhadap penurunan rendemen minyak, keterlambatan proses rebusan, hingga bottleneck di stasiun press (Simanungkalit & Hernawati, 2023).

PT Perkebunan Nusantara IV Regional II Unit Kebun dan PKS Adolina merupakan salah satu perusahaan agroindustri besar yang mengandalkan mesin sterilizer sebagai mesin kritis dalam proses rebusan. Berdasarkan data internal perusahaan pada tahun 2024, frekuensi downtime sterilizer masih tergolong tinggi dengan rata-rata 35–45 jam per bulan, serta jumlah kerusakan mencapai 5–7 kali per bulan. Kondisi ini menunjukkan bahwa efektivitas sistem perawatan yang berjalan belum optimal, sehingga berdampak pada tidak tercapainya kapasitas produksi yang direncanakan. Permasalahan tingginya downtime pada mesin sterilizer di PKS umumnya disebabkan oleh metode perawatan yang masih bersifat *corrective maintenance*, yaitu tindakan perbaikan baru dilakukan setelah kerusakan terjadi. Pola perawatan seperti ini sering menimbulkan kerugian besar karena menghentikan proses produksi, meningkatkan biaya perbaikan, dan menurunkan efisiensi pabrik (Bangun et al., 2024). Oleh sebab itu, diperlukan pendekatan perawatan yang lebih sistematis dan berbasis keandalan untuk mencegah terjadinya kegagalan mesin.

PT Perkebunan Nusantara IV Regional II Unit Kebun dan PKS Adolina merupakan salah satu perusahaan agroindustri besar yang mengandalkan mesin sterilizer sebagai aset kritis. Namun, berdasarkan data internal dan observasi lapangan pada periode akhir tahun 2025,

ditemukan bahwa efektivitas sistem perawatan yang berjalan belum optimal. Hal ini dibuktikan dengan metrik keandalan mesin yang menunjukkan angka-angka kritis, di antaranya adalah nilai *Mean Time To Repair* (MTTR) yang mencapai 210 menit atau 3,5 jam. Artinya, setiap kali terjadi kerusakan, operasional pabrik terhenti total selama 3,5 jam untuk proses perbaikan. Selain itu, nilai *Mean Time Between Failure* (MTBF) tercatat sebesar 682 jam, yang mengindikasikan bahwa secara rata-rata mesin hanya mampu bertahan selama kurang lebih 28 hari sebelum mengalami kerusakan berikutnya. Meskipun nilai ketersediaan (*availability*) mesin berada pada angka 99,49% (Irwansyah & Khairunisyah, 2023), namun nilai keandalan (*reliability*) untuk durasi operasional 24 jam hanya sebesar 96,54% dengan laju kegagalan mencapai 0,0352. Kondisi ini menunjukkan adanya risiko kegagalan yang tidak terprediksi pada komponen vital seperti *packing* pintu rebusan, *packing exhaust*, dan saklar kondensat.

Integrasi antara *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dan *Reliability Centered Maintenance* (RCM), perusahaan dapat melakukan transformasi dari sistem perawatan reaktif menjadi proaktif. FMEA berperan penting untuk mengidentifikasi potensi kegagalan serta memberikan prioritas perbaikan melalui perhitungan skor *Risk Priority Number* (RPN) berdasarkan tingkat keparahan, kejadian, dan deteksi (Aditya et al., 2025). Selanjutnya, metode RCM akan menentukan strategi pemeliharaan yang paling tepat secara teknis dan ekonomis apakah berupa *scheduled restoration*, *scheduled discard*, atau *on-condition task* sesuai dengan tingkat kritikalitas komponen. Hal ini membuktikan bahwa kombinasi RCM dan FMEA sangat relevan untuk diterapkan di PKS Adolina guna memitigasi kegagalan berulang. Selain RCM, analisis *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) juga menjadi alat yang penting untuk mengidentifikasi potensi kegagalan serta memberikan skor risiko melalui perhitungan *Risk Priority Number* (RPN). Metode FMEA banyak digunakan di industri manufaktur untuk menentukan prioritas perbaikan berdasarkan tingkat keparahan, kemungkinan kejadian, dan kemampuan deteksi (Susi et al., 2025). Dengan kombinasi RCM dan FMEA, perusahaan dapat memperoleh evaluasi mendalam mengenai komponen-komponen kritis pada mesin sterilizer.

Beberapa penelitian terdahulu telah membuktikan efektivitas integrasi kedua metode ini pada objek yang berbeda. Penelitian Muslih & Iswarini (2022) menerapkan integrasi FMEA dan RCM untuk mengoptimalkan sistem perawatan pada mesin boiler di industri pengolahan sawit, dengan fokus utama pada penurunan laju kerusakan pipa boiler akibat suhu ekstrem. Sementara itu, Wibowo (2025) menggunakan pendekatan serupa pada mesin press di Pabrik Kelapa Sawit (PKS) untuk menentukan interval waktu perawatan optimal guna mencegah kehilangan minyak (*oil losses*).

Penerapan metode RCM dan FMEA pada mesin sterilizer di PTPN IV Regional II Unit Kebun dan PKS Adolina sangat penting untuk dilakukan. Penelitian ini tidak hanya bertujuan untuk mengidentifikasi komponen kritis dan mode kegagalan, tetapi juga memberikan usulan tindakan perawatan yang terstruktur dan berbasis risiko untuk meningkatkan keandalan mesin. Melalui penelitian ini diharapkan diperoleh strategi perawatan yang optimal sehingga dapat mengurangi downtime, meningkatkan efektivitas mesin sterilizer, serta meningkatkan produktivitas PKS secara keseluruhan pada tahun 2025. Dengan demikian, penerapan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) dan *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) menjadi solusi ilmiah yang komprehensif dalam upaya mendukung efisiensi operasional perusahaan secara berkelanjutan.

METODE

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan mengoptimalkan sistem *maintenance* mesin sterilizer melalui penerapan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dan *Reliability Centered Maintenance* (RCM). Metode FMEA digunakan untuk mengidentifikasi mode kegagalan, penyebab kegagalan, serta menentukan tingkat risiko kegagalan berdasarkan nilai *Risk Priority Number* (RPN). Selanjutnya, metode RCM diterapkan untuk menentukan strategi perawatan yang paling tepat berdasarkan fungsi komponen dan konsekuensi kegagalannya. Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dengan studi kasus pada mesin sterilizer di PKS Adolina. Data penelitian diperoleh melalui observasi lapangan terhadap kondisi fisik, pola operasional, dan gejala kerusakan mesin, wawancara mendalam dengan manajer pabrik, asisten kepala, serta operator dan teknisi *maintenance*, serta data historis perusahaan berupa laporan kerusakan (*breakdown log*) dan waktu perbaikan (*downtime*). Teknik analisis data yang digunakan meliputi perhitungan nilai RPN untuk menentukan komponen kritis dalam FMEA, analisis logika keputusan RCM (*RCM decision worksheet*) untuk menentukan tindakan perawatan, serta pengolahan data distribusi waktu antar-kegagalan (*time between failures*) untuk menghitung nilai keandalan (*reliability*).

HASIL

***Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)**

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) merupakan metode yang digunakan untuk mengidentifikasi potensi kegagalan pada suatu sistem, menganalisis dampaknya, serta menentukan tingkat risiko berdasarkan nilai RPN. Berdasarkan hasil pengamatan pada beberapa aktivitas di stasiun pabrik biji, terdapat beberapa kerusakan mesin yang menyebabkan

efisiensi mesin menurun sehingga menimbulkan *losses*. Berikut hasil identifikasi kerusakan sterilizer yang diperoleh data wawancara sebagai berikut.

Tabel 1. Data kerusakan

No	Jenis Kerusakan	Penyebab	Efek Produksi
1	Packing Pintu Rebusan (Packing Door)	1) Faktor usia pemakaian 2) Disaat membuka pintu rebusan terlalu keras	1) Kebocoran Uap 2) Proses Perebusan tidak maksimal
2	Kebocoran Packing Exhaust	1) Suhu dan tekanan uap tinggi 2) Faktor usia pemakain 3) Kurangnya perawatan	1) Tekanan rebusan menurun 2) Perebusan TBS tidak Maksimal 3) Penurunan kualitas CPO
3	Saklar Kondesat Mengalami Korslet	1) Faktor usia pemakain 2) Kabel atau isolasi rusak	1) Proses perebusan tertunda 2) Dapat menyebabkan komponen lain rusak

Metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) digunakan untuk mengidentifikasi jenis kerusakan yang terjadi pada mesin serta menilai tingkat keparahan dampak kerusakan (*Severity*), frekuensi terjadinya kerusakan (*Occurrence*), dan kemampuan sistem dalam mendeteksi kerusakan tersebut (*Detection*). Ketiga parameter tersebut kemudian digunakan untuk menghitung nilai *Risk Priority Number* (RPN) yang menjadi dasar dalam menentukan prioritas perbaikan atau penanganan kerusakan. Berikut adalah hasil pengolahan data FMEA terhadap beberapa jenis kerusakan mesin di PKS Adolina.

Saverity Rating (Rating Keparahan)

Tabel 2. Saverity rating

No	Jenis Kerusakan	Skala
1	Packing Pintu Rebusan (Packing Door)	5
2	Kebocoran Packing Exhaust	6
3	Saklar Kondesat Mengalami Korslet	8

Occurrence (Frekuensi)

Tabel 3. Occurrence rating

No	Jenis Kerusakan	Skala
1	Packing Pintu Rebusan (Packing Door)	2
2	Kebocoran Packing Exhaust	2
3	Saklar Kondesat Mengalami Korslet	2

Detection (Deteksi)

Tabel 4. Detection rating

No	Jenis Kerusakan	Skala
1	Packing Pintu Rebusan (Packing Door)	3
2	Kebocoran Packing Exhaust	3
3	Saklar Kondesat Mengalami Korslet	2

*Hasil Perhitungan Nilai Risk Priority Number (RPN)***Tabel 5.** Hasil perhitungan nilai *Risk Priority Number (RPN)*

No	Jenis Kerusakan	S	O	D	RPN (S*O*D)
1	Packing Pintu Rebusan (Packing Door)	8	2	2	32
2	Kebocoran Packing Exhaust	6	2	3	36
3	Saklar Kondesat Mengalami Korslet	5	2	3	30
Total RPN					98

Hasil Persentase

Berikut ini merupakan perhitungan yang dilakukan untuk menentukan nilai persentase (%) dari setiap jenis kerusakan berdasarkan nilai *Risk Priority Number (RPN)*.

- Persentase Kerusakan *Packing Pintu Rebusan (Packing Door)*

$$\text{RPN rata-rata} = 32$$

$$\text{RPN total} = 98$$

Maka perhitungan persentasenya adalah sebagai berikut:

$$\text{Persentase total} = (\text{RPN rata-rata} / \text{RPN total}) \times 100\%$$

$$= 32 / 98 \times 100\%$$

$$= 32,65\%$$

- Persentase Kerusakan Kebocoran *packing exhaust*

$$\text{RPN rata-rata} = 36$$

$$\text{RPN total} = 98$$

Maka perhitungan persentasenya adalah sebagai berikut:

$$\text{Persentase total} = (\text{RPN rata-rata} / \text{RPN total}) \times 100\%$$

$$= 36 / 98 \times 100\%$$

$$= 36,73\%$$

- Persentase Kerusakan Saklar Kondesat Mengalami Korslet

$$\text{RPN rata-rata} = 30$$

$$\text{RPN total} = 98$$

Maka perhitungannya adalah:

$$\text{Persentase total} = (\text{RPN rata-rata} / \text{RPN total}) \times 100\%$$

$$= 30/98 \times 100\%$$

$$= 30,61$$

Tabel 6. Hasil persentase

No.	Jenis Kerusakan	S	O	D	RPN (S*O*D)	Persentase (%)
1	Packing Pintu Rebusan (Packing Door)	8	2	2	32	32,65%
2	Kebocoran Packing Exhaust	6	2	3	36	36,73%
3	Saklar Kondesat Mengalami Korslet	5	2	3	30	32,65%

*Hasil Persentasi Kumulatif***Tabel 7.** Hasil perhitungan nilai *Risk Priority Number* (RPN) berdasarkan persentasi kumulatif

No	Jenis Kerusakan	S	O	D	RPN (S*O*D)	Persentase (%)	Persentase Kumulatif (%)
1	Packing Pintu Rebusan (Packing Door)	8	2	2	32	32,65%	68,65
2	Kebocoran Packing Exhaust	6	2	3	36	36,73%	105,38
3	Saklar Kondesat Mengalami Korslet	5	2	3	30	32,65%	138,03

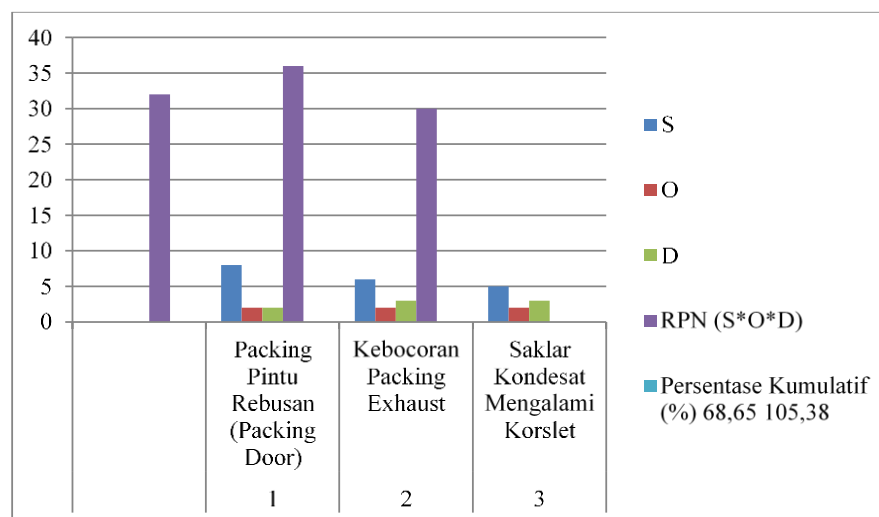
Diagram Pareto**Gambar 1.** Diagram pareto

Diagram pareto adalah grafik yang digunakan untuk mengidentifikasi dan memvisualisasikan masalah-masalah paling signifikan dalam suatu proses berdasarkan prinsip pareto. Diagram batang tersebut menunjukkan hasil analisis FMEA (*failure mode and effect analysis*) terhadap beberapa jenis kerusakan pada mesin sterilizer. grafik ini menampilkan nilai *severity* (s), *occurrence* (o), *detection* (d), dan *Risk Priority Number* (RPN) dari setiap jenis kerusakan yang dianalisis. pada kerusakan packing pintu rebusan (*packing door*) diperoleh nilai $s = 8$, $o = 2$, dan $d = 2$ sehingga menghasilkan rpn sebesar 32. nilai *severity* yang cukup tinggi menunjukkan bahwa kerusakan ini dapat mengganggu proses sterilisasi, meskipun frekuensi kejadiannya relatif jarang dan masih mudah dideteksi. kerusakan kebocoran *packing*

exhaust memiliki nilai $s = 6$, $o = 2$, dan $d = 3$ dengan rpn sebesar 36, yang merupakan nilai tertinggi. hal ini menunjukkan bahwa kerusakan tersebut menjadi prioritas utama dalam kegiatan perawatan, karena dapat menyebabkan kebocoran uap yang berdampak pada proses sterilisasi dan efisiensi kerja mesin. Sementara itu, saklar kondesat yang mengalami korslet memiliki nilai $s = 5$, $o = 2$, dan $d = 3$ sehingga menghasilkan rpn sebesar 30. walaupun tingkat risikonya lebih rendah dibandingkan kerusakan lainnya, komponen ini tetap memerlukan pemeliharaan secara rutin. Berdasarkan persentase kumulatif, dua jenis kerusakan pertama telah mencakup sekitar 68,65% dari total risiko kerusakan, sedangkan keseluruhan kerusakan mencapai 100%. oleh karena itu, prioritas perbaikan mesin sterilizer dimulai dari kebocoran *packing exhaust*, kemudian *packing* pintu rebusan, dan terakhir saklar kondesat yang mengalami korslet. fokus perawatan pada komponen dengan nilai rpn tertinggi diharapkan dapat meminimalkan risiko kerusakan serta meningkatkan kinerja mesin sterilizer.

Reliability Centered Maintenance (RCM)

Reliability Centered Maintenance (RCM) adalah metode pemeliharaan mesin yang berfokus pada upaya menjaga tingkat keandalan suatu sistem atau peralatan agar dapat beroperasi sesuai dengan fungsi yang diharapkan. Metode ini digunakan untuk menentukan jenis perawatan yang paling tepat dengan mempertimbangkan fungsi mesin, kemungkinan terjadinya kerusakan, serta dampak yang ditimbulkan terhadap proses operasional. Data hasil pengukuran RCM mesin sterilizer disajikan pada Tabel berikut.

Tabel 8. Data kerusakan mesin

Komponen	Waktu Mulai Operasi	Waktu Mulai Rusak	Waktu Selesai Perbaikan	TTR (Menit)	TBF (Menit)
Packing Pintu Rebusan (Packing Door)	06:30	08:30	12:30	240	
Kebocoran Packing Exhaust	06:30	12:30	15:00	210	56.160
Saklar Kondesat Mengalami Korslet	06:30	11:00	13:00	180	25.680
		Total		630	81.840

Setelah diketahui waktu terjadinya kerusakan dan waktu perbaikannya, langkah berikutnya adalah melakukan perhitungan nilai rata-rata dari waktu kerusakan serta waktu perbaikan tersebut.

Pengolahan Data Kerusakan Mesin Sterilizer

Pada penelitian ini dilakukan pengolahan data kerusakan mesin sterilizer untuk mengetahui tingkat keandalan mesin serta menentukan kebijakan perawatan yang optimal menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM). Data yang digunakan merupakan data kerusakan mesin yang terjadi selama periode pengamatan pada beberapa komponen utama mesin sterilizer. Data tersebut meliputi waktu mulai kerusakan, waktu selesai perbaikan, serta selang waktu antar kerusakan. Dari data tersebut kemudian dilakukan *Mean Time Between Failure* (MTBF), *Mean Time To Repair* (MTTR), *Reliability* (Keandalan), *Availability* (Ketersediaan).

Mean Time Between Failure (MTBF)

MTBF atau rata-rata waktu antara kegagalan adalah metrik yang mengukur seberapa sering mesin atau sistem mengalami kerusakan selama periode operasi yang normal. Secara mudah dipahami, ini adalah rata-rata waktu operasional mesin diantara dua kejadian kegagalan yg berurutan. Semakin tinggi nilai MTBF, semakin handal mesin tersebut.

MTBF adalah rata-rata waktu operasional mesin di antara kegagalan/kerusakan. Rumusnya adalah:

$$MTBF = \frac{\text{Total waktu oprasional}}{\text{Jumlah kerusakan}}$$

$$\begin{aligned} \text{Total waktu operasi} &= \text{TBF}/60 \\ &= 81.840/60 \\ &= 1.364 \text{ Jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka, MTBF} &= \text{Total waktu operasi}/\text{Jumlah kerusakan} \\ &= 81.840/2 \\ &= 40.920 \text{ menit}/ 60 = 682\text{jam} \end{aligned}$$

Kesimpulannya mesin rata-rata mampu bertahan selama kurang lebih 28 hari sebelum mengalami kerusakan berikutnya.

Mean Time To Repair (MTTR)

MTTR adalah jumlah rata-rata waktu yang diperlukan untuk memperbaiki sistem dan mengembalikannya ke fungsionalitas penuh. Setelah perbaikan dimulai, perhitungan MTTR akan dilakukan hingga kondisi yang terganggu sepenuhnya dipulihkan, termasuk waktu pengujian yang diperlukan. Dalam industri, MTTR tidak selalu berarti peningkatan. Selain itu dapat berarti pemulihan, respons, atau penyelesaian.

MTBF adalah rata-rata waktu operasional mesin di antara kegagalan/kerusakan. Rumusnya adalah:

$$MTTR = \frac{\text{Jumlah Waktu Perbaikan}}{\text{Jumlah kerusakan}}$$

$$\begin{aligned} MTTR &= \text{Total waktu perbaikan/Jumlah kerusakan} \\ &= 630/3 \\ &= 210 \text{ Menit (atau 3,5 jam)} \end{aligned}$$

Kesimpulannya secara rata-rata, setiap kali terjadi kerusakan pada sistem sterilizer, operasional akan terhenti selama 3,5 jam untuk proses perbaikan.

Reliability (Keandalan)

Reliability atau keandalan merupakan ukuran yang menunjukkan kemampuan suatu mesin atau peralatan untuk beroperasi dengan baik tanpa mengalami kerusakan dalam jangka waktu tertentu. Nilai *reliability* sangat penting dalam analisis perawatan mesin karena mencerminkan tingkat kepercayaan terhadap kinerja mesin selama proses operasional. Dalam penelitian ini, perhitungan *reliability* dilakukan dengan menggunakan pendekatan distribusi eksponensial. Untuk menghitung (R), kita dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

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

Keterangan :

R (t) = Keandalan pada waktu t

λ = Laju kegagalan

Maka, $R(t) = e^{-\lambda t}$

$$R(24) = e^{-(1440/40,920)}$$

$$R(24) = e^{-0,0352}$$

$$R(24) = 0,9654 = 96,54\%$$

Availability (Ketersediaan)

Availability atau ketersediaan adalah ukuran yang menunjukkan tingkat kesiapan suatu mesin atau peralatan untuk dapat digunakan saat diperlukan. Nilai *availability* mencerminkan perbandingan antara waktu operasi mesin dengan total waktu yang terdiri dari waktu operasi dan waktu perbaikan. Semakin tinggi nilai *availability*, maka semakin besar tingkat kesiapan mesin dalam menunjang proses produksi.

Untuk menghitung (A), kita dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Availability} &= \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}} \\ &= \frac{40.920}{40.920 + 210} \\ &= 0,9949 = 99,49\% \end{aligned}$$

Tabel 9. Tabel hasil perhitungan TTR

No.	Kerusakan	Komponen	TTR (Menit)
1	Kerusakan 1	Packing Door	240
2	Kerusakan 2	Packing Exhaust	210
3	Kerusakan 3	Saklar Kondensat	180

Analisis Hasil *Reliability Centered Maintenance (RCM)*

Berdasarkan hasil pengolahan data kerusakan mesin sterilizer, diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 10. Hasil pengolahan data kerusakan mesin sterilizer

No	Parameter	Hasil
1	MTTR	210 menit
2	MTTF	40.920 menit
3	Kerusakan dominan	Packing Door

DISKUSI

Analisis *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*

Metode *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* pada penelitian ini digunakan untuk mengidentifikasi berbagai potensi kegagalan yang dapat terjadi pada mesin sterilizer serta menilai tingkat risiko yang ditimbulkan oleh setiap jenis kerusakan. Penentuan tingkat risiko tersebut dilakukan dengan menggunakan nilai *Risk Priority Number (RPN)*. Nilai RPN diperoleh dari hasil perkalian tiga parameter utama yaitu *Severity (S)*, *Occurrence (O)*, dan *Detection (D)*. Parameter *Severity (S)* menunjukkan tingkat keparahan dampak yang ditimbulkan apabila suatu kerusakan terjadi pada mesin. Parameter *Occurrence (O)* menggambarkan tingkat kemungkinan atau frekuensi terjadinya kerusakan pada komponen tertentu. Sedangkan *Detection (D)* menunjukkan kemampuan sistem dalam mendeteksi potensi kerusakan sebelum kegagalan tersebut benar-benar terjadi.

Tabel 11. Ringkasan nilai RPN kerusakan mesin sterilizer

No	Jenis Kerusakan	S	O	D	RPN	Persentase
1	Kebocoran Packing Exhaust	6	2	3	36	36,73%
2	Packing Pintu Rebusan (Packing Door)	8	2	2	32	32,65%
3	Saklar Kondensat Korslet	5	2	3	30	30,61%

Berdasarkan hasil perhitungan yang ditunjukkan pada Tabel 11 diketahui bahwa kerusakan berupa kebocoran pada *packing exhaust* memiliki nilai RPN paling tinggi yaitu sebesar 36. Nilai tersebut menunjukkan bahwa komponen tersebut memiliki tingkat risiko kegagalan yang paling besar dibandingkan dengan komponen lainnya, sehingga perlu menjadi fokus utama dalam kegiatan pemeliharaan mesin sterilizer. Selain itu, apabila dilihat dari akumulasi kontribusi risiko, kerusakan yang terjadi pada *packing exhaust* dan *packing* pintu rebusan menyumbang sekitar 68,65% dari total potensi kegagalan yang terjadi pada sistem. Hal ini mengindikasikan bahwa kedua komponen tersebut memiliki peranan penting dalam menjaga kestabilan proses operasi mesin sterilizer, sehingga perlu mendapatkan perhatian khusus dalam perencanaan program perawatan.

Temuan ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan Kusumawati (2024) yang menyatakan bahwa komponen penyekat (*packing/seal*) pada bejana bertekanan di pabrik kelapa sawit sering kali menduduki peringkat RPN tertinggi akibat fluktuasi tekanan dan suhu uap yang ekstrem secara terus-menerus.

Analisis Reliability Centered Maintenance (RCM)

Metode Reliability Centered Maintenance (RCM)

Digunakan untuk mengevaluasi tingkat keandalan mesin sterilizer melalui analisis data kegagalan dan waktu perbaikan yang terjadi pada mesin tersebut. Dalam penelitian ini, tingkat keandalan mesin dianalisis menggunakan empat parameter utama yaitu *Mean Time Between Failure* (MTBF), *Mean Time To Repair* (MTTR), *Reliability* (Keandalan), *Availability* (Ketersediaan). Berdasarkan hasil pengolahan data dari beberapa kejadian kerusakan utama pada mesin sterilizer, diperoleh nilai MTTR sebesar 210 menit atau sekitar 3,5 jam. Nilai ini menggambarkan rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk melakukan proses perbaikan hingga mesin dapat kembali beroperasi secara normal. Nilai MTTR yang cukup besar menunjukkan bahwa proses perbaikan memerlukan waktu yang relatif lama. Kondisi ini dapat menyebabkan meningkatnya waktu henti produksi (*downtime*) yang pada akhirnya dapat mempengaruhi tingkat efisiensi operasional pabrik.

Temuan mengenai tingginya nilai MTTR pada stasiun rebusan ini relevan dengan studi yang dilakukan oleh Marbun (2022) yang mengungkapkan bahwa lamanya waktu perbaikan pada mesin sterilizer sering kali disebabkan oleh faktor internal seperti keterlambatan penyediaan suku cadang kritis, keterbatasan alat bantu perbaikan, serta kerumitan mekanis komponen yang harus menunggu suhu mesin turun terlebih dahulu sebelum diperbaiki. Selain itu, dampak durasi perbaikan ini diperkuat oleh penelitian Padilah (2024) yang menyatakan

bahwa nilai MTTR yang melebihi batas toleransi ideal (di atas 2 jam) di pabrik kelapa sawit secara linier akan menurunkan nilai *operational availability* sistem secara keseluruhan. Penurunan ini memicu efek domino berupa penumpukan Tandan Buah Segar (TBS) di *loading ramp* yang berpotensi menurunkan kualitas bahan baku akibat meningkatnya kadar asam lemak bebas.

Mean Time Between Failure (MTBF)

Hasil analisis menunjukkan bahwa mesin sterilizer memiliki nilai *Mean To Time Failure* (MTTF) sebesar 40.920 menit atau setara dengan 682 jam operasi. Nilai tersebut menunjukkan bahwa mesin sterilizer secara rata-rata mampu beroperasi selama sekitar 682 jam sebelum mengalami kerusakan pada salah satu komponennya. Informasi mengenai nilai keandalan ini sangat penting karena dapat digunakan sebagai dasar dalam menentukan interval waktu perawatan yang lebih efektif sehingga potensi kerusakan dapat dicegah sebelum menimbulkan kegagalan yang lebih besar. Temuan ini didukung oleh penelitian yang dilakukan terdahulu yang menekankan bahwa estimasi waktu antar-kegagalan yang akurat pada mesin stasiun rebusan kelapa sawit merupakan fondasi utama untuk menggeser kebijakan perawatan dari yang semula reaktif menjadi preventif berjadwal. Pemanfaatan nilai parameter waktu ini dalam penyusunan jadwal *preventive maintenance* terbukti mampu menekan laju kerusakan mendadak (*sudden breakdown*) hingga 25% dan memastikan keandalan operasional komponen kritis tetap terjaga di atas ambang batas aman (Candra, 2019); (Irwansyah & Khairunisya, 2023).

Hasil Pengolahan Data Keandalan

Berdasarkan data historis kerusakan mesin sterilizer selama periode Oktober hingga Desember 2025, telah dilakukan perhitungan metrik keandalan menggunakan parameter *Time Between Failure* (TBF) dan *Time To Repair* (TTR).

Tabel 12. Hasil pengolahan data keandalan

Parameter Pengukuran	Nilai Kalkulasi	Satuan
Total Waktu Operasi	81.840	Menit
Total Waktu Perbaikan	630	Menit
Mean Time Between Failure	682	Jam
Mean Time To Repair	3,5	Jam
Laju Kerusakan	0,001466	Kegagalan/Jam
Keandalan / Reliability untuk 24 Jam	96,54%	Persentase

Analisis Keandalan Mesin

Nilai *Mean Time Between Failures* (MTBF) sebesar 682 jam menunjukkan bahwa rata-rata mesin sterilizer mampu beroperasi selama kurang lebih 28 hari sebelum mengalami kegagalan sistem. Analisis pada tabel data menunjukkan adanya tren penurunan interval kerusakan yaitu (1) interval pertama (56.160 menit) jauh lebih panjang dibandingkan interval kedua (25.680 menit), dan (2) penurunan drastis ini mengindikasikan bahwa kondisi mesin mulai mengalami degradasi atau keausan komponen yang lebih cepat di akhir periode. Dengan nilai *Reliability* 96,54% untuk durasi 24 jam, mesin dikategorikan memiliki keandalan yang tinggi dalam jangka pendek. Namun, angka ini akan terus menurun seiring bertambahnya waktu operasional jika tidak dilakukan intervensi pemeliharaan.

Analisis Kemampuan Perbaikan (MTTR)

Nilai *Mean Time To Repair* (MTTR) sebesar 3,5 jam (210 menit) menunjukkan efisiensi tim pemeliharaan dalam menangani kerusakan. Durasi perbaikan terlama terjadi pada komponen *Packing* Pintu Rebusan (4jam). Hal ini disebabkan oleh kompleksitas mekanis pada area pintu yang memerlukan waktu lebih lama untuk proses bongkar-pasang serta pembersihan sisa material sebelum komponen baru dipasang.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan pada mesin sterilizer di PKS Adolina dengan menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dan *Reliability Centered Maintenance* (RCM), dapat disimpulkan bahwa sistem *maintenance* mesin sterilizer di PKS Adolina saat ini masih bersifat *corrective maintenance*, sehingga menyebabkan tingginya *downtime* dan menurunkan efisiensi produksi. Berdasarkan analisis *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), kerusakan dengan tingkat risiko tertinggi adalah kebocoran pada *packing exhaust*, diikuti oleh *packing* pintu rebusan dan saklar kondensat.

Hasil analisis *Reliability Centered Maintenance* (RCM) menunjukkan nilai MTTR sebesar 210 menit dan MTTF sebesar 682 jam, yang menunjukkan bahwa waktu perbaikan relatif lama dan interval kerusakan dapat diprediksi. Penerapan metode FMEA dan RCM menghasilkan strategi *maintenance* yang lebih optimal, yaitu *preventive maintenance*, *condition based maintenance*, dan *inspection maintenance*. Strategi ini mampu meningkatkan keandalan mesin dan menurunkan potensi *downtime*.

REFERENSI

- Aditya, A. B., Nugroho, B., & Renjani, R. A. (2025). Enhancing Reliability and Maintenance Efficiency of Screw Press Machines in Palm Fruitlet Processing Mills: A Failure Mode and Effect Analysis (FEMA) Approach. *Tropical Plantation Journal.*, 4(2).
- Amalia, W., Ramadian, D., & Hidayat, S. N. (2022). Analisis Kerusakan Mesin Sterilizer Pabrik Kelapa Sawit Menggunakan Failure Modes and Effect Analysis (FMEA). *Jurnal Teknik Industri*, 8(2), 369–377.
- Bangun, A. D. T., Sinaga, G. A. N., Fadhilah, H., Hutabarat, H. G., & Sitorus, R. N. (2024). Analisis Penerapan Preventive Maintenance pada Pabrik Kelapa Sawit Menggunakan Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) dan Reliability Centered Maintenance (RCM). *TALENTA Conference Series: Energy and Engineering R*, 7(1), 760–775. <https://doi.org/10.32734/ee.v7i1.2269>
- Candra, A. (2019). Optimasi Preventif Maintenance Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance. *Jurnal Teknologi*, 2(2).
- Irwansyah, D., & Khairunisyah, A. (2023). Analisis Kegiatan Model Reliability Centered Maintenance (RCM) dalam Maintenance Mesin Vertical Sterilizer pada Stasiun Perebusan. *Jurnal Sistem Informasi*, 5(2), 103–114.
- Kusumawati, A., Safitri, S., Putra, L. A., & Ramayanti, G. (2024). Analisis Penyebab Kerusakan Mesin dengan Menggunakan Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) di PT. Sulfindo Adiusaha. *Jurnal InTent*, 7(2), 80–93.
- Marbun, N. J., S, J., Sirlyana, & Tahir, T. (2022). Preventive Maintenance Mesin Press Hydraulic Limbah Spent Bleaching Earth Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance di PT Mega Green Technology Dumai. *Jurnal ARTI: Aplikasi Rancangan Teknik Industri*, 17(November), 145–155.
- Muslih, G., & Iswarini, H. (2022). Analisis Manajemen Produksi Agribisnis Pabrik Kelapa Sawit PT. Buluh Cawang Plantation Dabuk Rejo Kecamatan Lempuing Kabupten Ogan Komering Ilir. *Societa Journal*, 2(1), 50–59.
- Padilah, D., Darmawan, Y., Surbakti, Y., Alfarisy, R., & Margana, R. R. (2024). Penerapan Reliability Centered Maintenance (RCM) untuk Penentuan Strategi Perawatan Vacuum Pump Autoclave di Industri Farmasi. *Cakrawala Repository IMWI*, 9(1), 7–15.
- Simanungkalit, R. M., & Hernawati, T. (2023). Analisis Penerapan Sistem Perawatan dengan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) pada Cement Mill Type Tube Mill di PT Cemindo Gemilang Medan. *Blend Sains Jurnal Teknik*.
- Susi, L., Lestari, T., & Ginting, P. J. (2025). Analisis Perawatan Mesin dengan Menggunakan Metode Failure Modes and Effects Analysis (FMEA). *Jurnal Teknologi dan Manajemen Industri Terapan (JTMIT)*, 4(3), 825–834.
- Wibowo, T., Sari, N. P., & Kusumantoro, H. B. R. (2025). Analisis Risiko Kegagalan Menggunakan Metode FMEA pada Mesin Cetak Digital UV di PT XYZ. *Jurnal Riset Rumpun Ilmu Teknik*, 4(2), 173–184.