

Analisis Perawatan Mesin Boiler Dengan Menggunakan Metode RCM (*Reliability Centered Maintenance*) Pada PTPN IV Regional 1 Unit PKS Sisumut

Analysis of Boiler Machine Maintenance Using the RCM (Reliability Centered Maintenance) Method at PTPN IV Regional 1 Sisumut PKS Unit

Ari Sadewa^{a,1}, Vidi Agung Fragastia^{b,2}

^{a,b}Program Studi Teknik Industri, Universitas Potensi Utama, KL. Yos Sudarso Km. 6,5 No. 3A, Medan, 20241, Indonesia

arisadewa0616@gmail.com¹, vidiagoeng@gmail.com²

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk merumuskan strategi perawatan yang optimal pada mesin boiler Takuma N750-SA dengan menerapkan pendekatan *Reliability Centered Maintenance* (RCM). Permasalahan yang terjadi pada mesin adalah tingginya frekuensi kerusakan dan terjadinya downtime yang berdampak terhadap penurunan efektivitas produksi. Metode penelitian diawali dengan identifikasi komponen kritis yang sering mengalami kerusakan melalui pengumpulan data historis kerusakan dan wawancara dengan operator. Selanjutnya dilakukan analisis *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) untuk menentukan prioritas komponen berdasarkan nilai *Risk Priority Number* (RPN). Dari hasil perhitungan RPN, komponen pompa air umpan, burner, dan pipa uap menjadi komponen dengan risiko tertinggi sehingga memerlukan penanganan perawatan lebih intensif. Analisis lebih lanjut dilakukan menggunakan parameter *Mean Time To Failure* (MTTF) dan *Mean Time To Repair* (MTTR) untuk mengetahui tingkat keandalan dan ketersediaan operasional komponen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan strategi perawatan berbasis RCM dengan kombinasi *Time Directed Maintenance*, *Condition Directed Maintenance*, dan *Failure Finding Maintenance* mampu menurunkan risiko kerusakan sebesar $\pm 30\%$ serta meningkatkan *availability* mesin dari 82,7% menjadi 90,4%. Dengan demikian, RCM terbukti efektif sebagai pendekatan perawatan preventif pada mesin boiler untuk mendukung kontinuitas operasi produksi.

Kata Kunci: *Reliability Centered Maintenance, FMEA, MTTF, MTTR, Strategi Perawatan Mesin*

ABSTRACT

This study aims to formulate an optimal maintenance strategy for the Takuma N750-SA boiler machine by applying the *Reliability Centered Maintenance* (RCM) approach. The main problem encountered on the machine is the high frequency of failures and the resulting downtime, which negatively affects production effectiveness. The research began with the identification of critical components that frequently experience failure by collecting historical failure data and conducting interviews with operators. Subsequently, a *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) was carried out to determine the maintenance priority based on the *Risk Priority Number* (RPN). The calculation results indicate that the feedwater pump, burner, and steam pipes are the components with the highest RPN values and therefore require more intensive maintenance actions. Further analysis was performed using *Mean Time To Failure* (MTTF) and *Mean Time To Repair* (MTTR) to determine component reliability and operational availability. The results show that the implementation of maintenance strategies based on RCM, using a combination of *Time Directed Maintenance*, *Condition Directed Maintenance*, and *Failure Finding Maintenance*, is capable of reducing failure risk by approximately 30% and increasing machine availability from 82.7% to 90.4%. Thus, RCM is proven to be an effective preventive maintenance approach for boiler machines in supporting the continuity of production operations.

Keywords: *Reliability Centered Maintenance, FMEA, MTTF, MTTR, Maintenance Strategy*

Info Artikel :

Disubmit: 12 September 2025

Direview: 16 Oktober 2025

Diterima : 13 November 2025

Copyright © 2025 – senadimu. All rights reserved.

1. PENDAHULUAN

Industri kelapa sawit merupakan salah satu sektor strategis dalam perekonomian Indonesia yang memberikan kontribusi signifikan terhadap devisa negara dan penyerapan tenaga kerja. Indonesia sebagai produsen minyak kelapa sawit terbesar dunia memiliki tanggung jawab untuk mempertahankan posisinya melalui efisiensi produksi dan peningkatan kualitas berkelanjutan. PT Perkebunan Nusantara IV (PTPN IV) regional 1 sisumut sebagai salah satu Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang bergerak dalam bidang perkebunan kelapa sawit, memiliki peran penting dalam menjaga kontinuitas produksi minyak kelapa sawit (CPO) berkualitas tinggi sekaligus menjadi pionier dalam penerapan teknologi dan manajemen modern di industri perkebunan Indonesia. Salah satu komponen vital dalam proses produksi adalah mesin boiler TAKUMA N 750 SA dan TAKUMA N 600 SA, yang berfungsi sebagai penyedia energi dan uap untuk proses perebusan buah kelapa sawit. Dua unit mesin boiler yang digunakan di PKS Sisumut adalah TAKUMA N 750 SA dan TAKUMA N 600 SA, masing-masing memiliki kapasitas dan karakteristik operasional yang berbeda.

Mesin TAKUMA N 750 SA, sebagai unit utama, memiliki kapasitas lebih besar dan digunakan secara intensif dalam siklus produksi. Namun, dalam beberapa periode operasional, mesin ini mengalami *downtime* yang cukup signifikan akibat kerusakan komponen seperti pipa uap, katup pengaman, dan sistem pembakaran. *Downtime* yang terjadi tidak hanya menghambat proses perebusan TBS, tetapi juga berdampak langsung pada penurunan efisiensi produksi dan peningkatan biaya operasional. Sementara itu, mesin TAKUMA N 600 SA berfungsi sebagai unit pendukung yang dioperasikan saat beban produksi meningkat atau saat mesin utama mengalami gangguan. Meskipun frekuensi penggunaannya lebih rendah, mesin ini juga pernah mengalami *downtime* akibat gangguan pada sistem kontrol tekanan dan kebocoran pada drum boiler. Kejadian tersebut menunjukkan bahwa kedua mesin belum memiliki strategi perawatan yang optimal dan terstruktur. Tingginya frekuensi *downtime* pada kedua mesin boiler ini menandakan perlunya evaluasi menyeluruh terhadap sistem perawatan yang diterapkan.

Di sektor industri manufaktur, keberhasilan proses produksi dan pencapaian target perusahaan sangat bergantung pada kinerja peralatan yang efektif dan efisien. Namun, salah satu kendala utama dalam pengoperasian mesin adalah munculnya gangguan atau kerusakan (*downtime*), yang dapat menurunkan produktivitas dan meningkatkan biaya operasional. Oleh sebab itu, dibutuhkan suatu sistem perawatan yang andal untuk memastikan kondisi mesin tetap optimal dalam menjalankan fungsinya. Namun, dalam operasionalnya, mesin boiler ini sering mengalami kerusakan dan *downtime* yang cukup tinggi. Hal ini menunjukkan belum adanya strategi perawatan yang optimal, sehingga keandalan mesin belum terjaga secara maksimal. Dampaknya adalah terganggunya proses produksi, meningkatnya biaya operasional, dan tidak tercapainya target produksi. Selain itu, analisis kinerja mesin masih terbatas karena belum dilakukan perhitungan parameter keandalan seperti *Mean Time Between Failure* (MTBF), *Mean Time To Repair* (MTTR), dan tingkat *reliability* secara terstruktur. Padahal, parameter ini sangat penting untuk menentukan interval perawatan yang efisien dan mendukung pengambilan keputusan teknis yang tepat. Proses pengolahan kelapa sawit memerlukan penggunaan boiler sebagai penyedia energi untuk mesin-mesin penggerak. Selain sebagai sumber tenaga, uap yang dihasilkan oleh boiler juga dimanfaatkan untuk perebusan buah kelapa sawit. Untuk memastikan kinerja boiler yang optimal, perawatan dan perbaikan (*maintenance*) pada komponen-komponen boiler menjadi suatu keharusan, bertujuan untuk mencegah kerusakan mendadak.

Permasalahan yang timbul di perusahaan ini adalah seringnya terjadi kerusakan pada mesin atau *breakdown* pada komponen-komponen mesin yang mengalami kerusakan sehingga hal ini dapat mengakibatkan jam kerja terhenti atau *downtime*. Kerusakan yang terjadi pada mesin dan peralatan tersebut dapat mengganggu jalannya proses produksi dan juga dapat mengakibatkan terhentinya suatu proses produksi akibat dari gangguan tersebut diantaranya adalah target produksi tidak tercapai perbaikan produksi tinggi, dan biaya produksi semakin tinggi. maka untuk mengoptimalkan jalannya mesin produksi dibutuhkan perawatan yang baik terhadap mesin produksi. perawatan yang dilakukan

untuk mesin dan peralatan produksi yang pada dalam perusahaan tentunya akan bertujuan untuk menunjang pelaksanaan dan peningkatan proses produksi. Guna mengatasi permasalahan yang kerap terjadi, seperti kerusakan mesin (*breakdown*) dan gangguan pada komponen mesin di PTPN IV Regional 1 Unit PKS Sisumut, diperlukan suatu pendekatan manajemen perawatan yang lebih sistematis dan terarah. Salah satu metode yang dinilai tepat untuk diterapkan adalah *Reliability Centered Maintenance* (RCM). Metode ini bertujuan untuk mengidentifikasi serta merumuskan strategi perawatan yang paling efektif, dengan mempertimbangkan fungsi utama peralatan, potensi kegagalan, serta dampaknya terhadap kelangsungan operasional perusahaan.

2. METODE

Pemeliharaan/*maintenance* adalah suatu kegiatan yang dilakukan secara berulang-ulang dengan tujuan agar peralatan selalu memiliki kondisi yang sama dengan keadaan awalnya [15]. Memperpanjang umur peralatan, memastikan tingkat ketersediaan fasilitas produksi yang optimal, memastikan semua fasilitas beroperasi untuk penggunaan darurat, dan memastikan keselamatan operator dan pengguna fasilitas [10]. Perawatan secara universal berperan buat memperpanjang usia ekonomis dari mesin serta perlengkapan produksi yang terdapat dan mengusahakan supaya mesin serta perlengkapan produksi tersebut senantiasa dalam kondisi maksimal serta siap gunakan buat penerapan proses produksi [11]. Menurut Patrik(*maintenance*) adalah suatu kegiatan untuk memelihara dan menjaga fasilitas yang ada serta memperbaiki, melakukan penyesuaian atau penggantian yang diperlukan untuk mendapatkan suatu kondisi operasi produksi agar sesuai dengan perencanaan yang ada [9].

Adapun klasifikasi dari perawatan mesin adalah [12]:

1. *Planned Maintenance*, suatu tindakan atau kegiatan pemeliharaan yang kinerjanya telah direncanakan sebelumnya. Pemeliharaan terencana dibagi menjadi 2, yaitu :
 - a. *Preventive Maintenance*
 - b. *Predictive Maintenance*
2. *Unplaned Maintenance*, Suatu tindakan atau kegiatan perawatan yang pelaksanaannya tidak direncanakan. *Unplaned maintenance* terbagi atas 2, yaitu :
 - a. *Corrective Maintenance*
 - b. *Breakdown Maintenance*

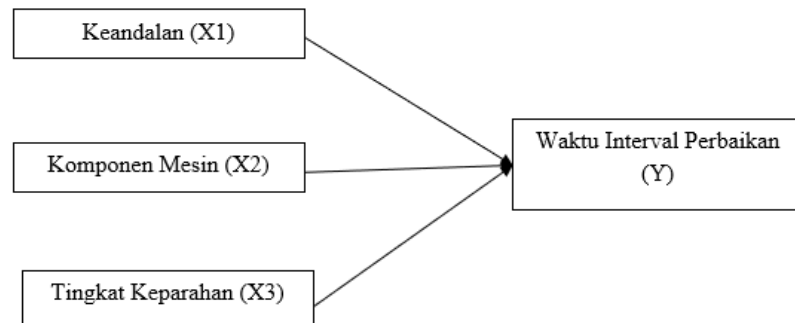
Reliability Centered Maintenance (RCM) adalah suatu proses yang digunakan untuk menentukan apa yang perlu dilakukan untuk memastikan bahwa aset fisik dapat terus menjalankan fungsi yang diharapkan dalam konteks aktivitasnya saat ini [13].

Tujuan dari *Reliability Centered Maintenance* (RCM) yaitu [14] :

1. Menetapkan prioritas desain untuk memfasilitasi kegiatan pemeliharaan yang efektif.
2. Menjadwalkan pemeliharaan preventif yang aman dan andal pada tingkat tertentu dari system.
3. Mengumpulkan data yang terkait dengan perbaikan item berdasarkan bukti keandalan yang tidak memadai.
4. Mencapai ketiga target dengan biaya minimal.

Penelitian ini termasuk dalam kategori penelitian terapan dengan pendekatan deskriptif kuantitatif. Penelitian terapan bertujuan untuk memberikan solusi konkret terhadap permasalahan yang terjadi di lapangan, dalam hal ini tingginya tingkat *downtime* pada mesin boiler TAKUMA N 750 SA dan TAKUMA N 600 SA di PKS Sisumut. Melalui penerapan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM), penelitian ini berupaya merancang strategi perawatan yang optimal guna meningkatkan keandalan mesin dan efisiensi operasional. Pendekatan deskriptif kuantitatif digunakan untuk menggambarkan kondisi aktual mesin berdasarkan data historis kerusakan, frekuensi *downtime*, serta parameter keandalan seperti MTBF, MTTR, dan nilai *reliability*. Data tersebut dianalisis secara numerik

untuk menghasilkan rekomendasi teknis yang dapat diterapkan langsung oleh pihak perusahaan. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya bersifat analitis, tetapi juga aplikatif dalam mendukung peningkatan performa sistem produksi.



Gambar 1 Kerangka Konsep

Kerangka konsep pada penelitian ini menjelaskan hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat dalam penerapan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) pada mesin boiler. Variabel bebas terdiri atas keandalan (X1), komponen mesin (X2), dan tingkat keparahan (X3), yang secara bersama-sama memengaruhi variabel terikat yaitu waktu interval perbaikan (Y).

Pertama, keandalan (X1) diukur melalui parameter seperti *Mean Time To Failure* (MTTF) dan *Mean Time To Repair* (MTTR), yang menjadi dasar dalam menentukan interval perawatan optimal. Semakin tinggi tingkat keandalan mesin, semakin panjang interval perawatan yang dapat ditetapkan [1].

Kedua, komponen mesin (X2) mengacu pada ketersediaan dan kondisi komponen kritis yang berpengaruh terhadap waktu perbaikan. Ketersediaan suku cadang yang rendah dapat memperpanjang *downtime* karena proses perbaikan tertunda, sebaliknya ketersediaan yang baik akan mempercepat perbaikan sehingga interval perawatan dapat dilaksanakan sesuai jadwal [2];[3].

Ketiga, tingkat keparahan (X3) berfungsi sebagai ukuran konsekuensi kegagalan. Kerusakan dengan tingkat keparahan tinggi menuntut prioritas perawatan yang lebih intensif agar dampak kerugian waktu, biaya, maupun risiko keselamatan dapat diminimalkan. Oleh karena itu, faktor keparahan sangat penting dalam perhitungan *Risk Priority Number* (RPN) pada metode FMEA yang digunakan dalam RCM [4].

Untuk memudahkan penulis dalam penelitian ini, maka diperlukan metode pengumpulan data agar data yang diambil tepat dan benar, yaitu :

1. Data Primer Data-data primer dalam penelitian ini adalah:
 - a. Data kerusakan mesin
 - b. Data lamanya waktu perbaikan
2. Data Sekunder Data sekunder yang akan diperoleh dari perusahaan adalah sebagai berikut yaitu:
 - a. Gambaran umum perusahaan
 - b. Sejarah perusahaan

Teknik pengolahan data dalam penelitian ini dilakukan secara sistematis untuk mendukung analisis *Reliability Centered Maintenance* (RCM) pada mesin boiler TAKUMA N 750 SA di PTPN IV Regional 1 Unit PKS Sisumut. Pengolahan data mencakup beberapa tahapan berikut:

1. Pengumpulan Data Historis Kerusakan dan Perbaikan Data primer berupa frekuensi kerusakan, waktu perbaikan, dan tingkat keparahan dikumpulkan dari laporan teknisi dan *logbook* perawatan mesin. Data ini menjadi dasar dalam perhitungan parameter keandalan.
2. Perhitungan Parameter Keandalan

- a) MTBF (*Mean Time Between Failure*): Mengukur rata-rata waktu antar kerusakan mesin.
 - b) MTTR (*Mean Time To Repair*): Mengukur rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki mesin.
2. Analisis Statistik dan Uji Data
 - a) Uji Kecukupan Data: Untuk memastikan jumlah data yang digunakan sudah representatif.
 - b) Uji Keceragaman Data: Untuk memastikan data berasal dari sistem yang sama dan konsisten.
 - c) Perhitungan Standar Deviasi dan Batas Kendali (BKA & BKB): Digunakan untuk analisis kestabilan data kerusakan.
3. Penerapan Metode RCM
 - a) FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*): Mengidentifikasi mode kegagalan, penyebab, dan dampaknya.
 - b) RCM *Decision Worksheet*: Menentukan tindakan perawatan yang sesuai (preventif, korektif, atau prediktif).
 - c) *Logic Tree Analysis* (LTA): Mengklasifikasikan mode kegagalan berdasarkan konsekuensinya.
4. Penentuan Interval Perawatan Optimal Berdasarkan hasil analisis MTBF, MTTR, dan tingkat keparahan, dilakukan perhitungan frekuensi perawatan yang paling efisien untuk meminimalkan *downtime* dan meningkatkan keandalan mesin.

Adapun langkah-langkah metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut, yaitu:

1. Pendahuluan (mulai) Sebelum dilakukan penelitian, pertama dengan persiapan pemberkasan administrasi dari pihak kampus atau surat pengantar penelitian dari pihak PTPN IV REGIONAL 1 UNIT PKS SISUMUT
2. Identifikasi Masalah dan Tujuan Penelitian Pada langkah ini dilakukan wawancara dengan produksi mengenai masalah yang sering terjadi dalam proses produksi. Setelah melakukan wawancara dapat ditarik sebuah penelitian dan diidentifikasi dari permasalahan tersebut.
3. Studi Lapangan Langkah awal penelitian dilakukan studi lapangan untuk mengetahui kondisi perusahaan, proses produksi, dan informasi pendukung yang diperlukan melalui observasi/pengamatan dan wawancara [5].
4. Studi Literatur Langkah metode pemecahan masalah yang digunakan dan teori pendukung lainnya. Studi literatur yang digunakan dalam masalah tersebut adalah dengan metode RCM II (*Reliability Centered Maintenance* II).
5. Teknik Pengumpulan Data Metode yang digunakan untuk memperoleh data primer adalah dengan melakukan wawancara dan kegiatan tanya jawab dengan operator dan teknisi secara langsung di lapangan. Metode pengumpulan data sekunder adalah dengan melihat dan menyimpan dokumen di perusahaan. Data kerusakan yang digunakan adalah dokumen sejarah kerusakan mesin penggiling.
6. Pengolahan Data Adapun pengolahan data yang digunakan dengan metode RCM II (*Reliability Centered Maintenance* II) adalah sebagai berikut :
 - a. *Failure Modes and Effect Analyze* (FMEA)
 - b. Parameter TTF dan TTR
 - c. *Mean to Time Failure* (MTTF)
 - d. *Mean to Time Repair* (MTTR)
 - e. Perhitungan Interval waktu Perawatan
 - f. *Functional Block Diagram* (FBD)
 - g. *System Function dan Function Failure*
 - h. *Failure Mode and Effect Analysis*
 - i. RCM II *Dicission Worksheet*
 - a. *Failure Consequences*

b. Proactive Task and Default Action

c. Proposed Task

7. Kesimpulan dan Saran Dari hasil pengelolaan data yang dilakukan, maka akan dapat menarik kesimpulan yang menjadi tujuan dari masalah tersebut. Ketika masalah dalam produksi diketahui, saran dapat dibuat untuk mengurangi masalah jika perlu.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Mesin krisis adalah jenis mesin yang memiliki tingkat kerusakan tertinggi di antara seluruh mesin produksi, sehingga keberadaannya memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kelancaran proses produksi. Kerusakan yang sering terjadi pada mesin ini dapat menghambat laju produksi secara keseluruhan, bahkan berpotensi menyebabkan keterlambatan pemenuhan target produksi harian maupun bulanan. Identifikasi terhadap mesin kritis dilakukan berdasarkan analisis data *downtime* yang diperoleh dari catatan jadwal perbaikan mesin di pabrik. Hasil perhitungan untuk mesin boiler TAKUMA N 750 SA disajikan pada tabel 1 menunjukkan jumlah *downtime*, frekuensi kerusakan dan mengidentifikasi mesin yang menjadi prioritas utama dalam program pemeliharaan juga perbaikan.

Tabel 1. Jumlah Frekuensi *Downtime* Mesin

No	Mesin	Tanggal Kerusakan		Downtime (Jam)
		Mulai	Selesai	
1	TAKUMA N 750 SA	02/01/2025	05/01/2025	72
2	TAKUMA N 750 SA	12/01/2025	14/01/2025	48
3	TAKUMA N 750 SA	25/01/2025	28/01/2025	72
4	TAKUMA N 750 SA	03/02/2025	05/02/2025	48
5	TAKUMA N 750 SA	18/02/2025	19/02/2025	24
6	TAKUMA N 750 SA	26/02/2025	29/02/2025	72
7	TAKUMA N 750 SA	07/03/2025	09/03/2025	48
8	TAKUMA N 750 SA	15/03/2025	16/03/2025	24
9	TAKUMA N 750 SA	24/03/2025	27/03/2025	72
10	TAKUMA N 600 SA	05/01/2025	06/01/2025	24
11	TAKUMA N 600 SA	20/01/2025	22/01/2025	48
12	TAKUMA N 600 SA	10/02/2025	12/02/2025	48
13	TAKUMA N 600 SA	21/02/2025	22/02/2025	24
14	TAKUMA N 600 SA	05/03/2025	07/03/2025	48
15	TAKUMA N 600 SA	20/03/2025	21/03/2025	24

Distribusi normal digunakan dalam metode RCM untuk menganalisis pola penyebaran data waktu kerusakan (Time to Failure) dari komponen mesin boiler. Tujuannya adalah untuk mengetahui apakah data kerusakan mengikuti pola distribusi yang umum dan dapat diprediksi, sehingga memudahkan dalam menentukan strategi perawatan yang tepat. Dengan asumsi distribusi normal, perhitungan seperti rata-rata waktu antar kerusakan dan standar deviasi menjadi relevan untuk mengestimasi probabilitas kegagalan dalam rentang waktu tertentu. Hal ini memperkuat dasar 39 pengambilan keputusan dalam menetapkan interval perawatan preventif dan prediktif yang lebih efisien [2], [6].

Untuk mengetahui mesin mana yang sering mengalami kerusakan, diperlukan suatu metode perhitungan yang objektif dan terukur. Salah satu Pendekatan yang dapat digunakan yakni dengan menghitung persentase *downtime* akibat kerusakan mesin. Persentase *downtime* ini memberikan gambaran sebesar waktu berhentinya suatu mesin dibandingkan dengan total *downtime* dari seluruh mesin yang diamati. Langkah perhitungannya dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$\% \text{ Downtime} = \frac{\text{Downtime mesin}}{\Sigma \text{Downtime}} \times 100\%$$

Setelah dilakukan perhitungan berdasarkan data *downtime* kerusakan mesin yang tersedia, diperoleh bahwa tingkat kerusakan antar mesin. Hasil tersebut dapat diketahui mesin mana yang paling dominan mengalami masalah dan membutuhkan perhatian khusus.

Tabel 2. Downtime Kumulatif

No	Mesin	Downtime (Jam)	% Downtime	% Downtime Kumulatif
1	TAKUMA N 750 SA	480	69%	69%
2	TAKUMA N 600 SA	216	31%	100%

Mesin krisis adalah jenis mesin yang memiliki tingkat kerusakan tertinggi di antara seluruh mesin produksi, sehingga keberadaannya memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kelancaran proses produksi. Kerusakan yang sering terjadi pada mesin ini dapat menghambat laju produksi secara keseluruhan, bahkan berpotensi menyebabkan keterlambatan pemenuhan target produksi harian maupun bulanan. Identifikasi terhadap mesin kritis dilakukan berdasarkan analisis data *downtime* yang diperoleh dari catatan jadwal perbaikan mesin di pabrik. Hasil perhitungan untuk mesin boiler TAKUMA N 750 SA disajikan pada tabel 2 menunjukkan jumlah *downtime*, frekuensi kerusakan dan mengidentifikasi mesin yang menjadi prioritas utama dalam program pemeliharaan juga perbaikan.

Pengujian kecocokan data menjadi tahapan penting dalam analisis keandalan, untuk mengetahui apakah data waktu kerusakan mengikuti pola distribusi tertentu. Pemilihan distribusi yang tepat sangat diperlukan untuk dapat menjadi dasar dalam penentuan parameter keandalan seperti *reliability function*, *failure rate* dan *mean time to failure*. Mesin TAKUMA N 750, hasil analisis awal menunjukkan bahwa distribusi yang paling sesuai dalam menggambarkan pola kerusakan adalah distribusi Weibull. Untuk memastikan kesesuaian distribusi digunakan metode mann's test yakni salah satu metode uji kecocokan yang banyak diterapkan dalam analisis keandalan Berbasis Weibull. Hipotesis yang digunakan pada pengujian mann's test yakni.

Distribusi Weibull digunakan dalam metode RCM untuk memodelkan pola kegagalan komponen mesin secara lebih fleksibel dibandingkan distribusi normal. Weibull mampu menggambarkan berbagai bentuk distribusi waktu kerusakan, baik yang menunjukkan peningkatan, penurunan, maupun konstan terhadap laju kegagalan seiring waktu. Parameter β (beta) dalam distribusi ini menjadi indikator penting:

nilai $\beta < 1$ menunjukkan kegagalan awal (infant mortality), $\beta = 1$ menunjukkan kegagalan acak (random failure), dan $\beta > 1$ menunjukkan keausan (wear-out failure). Hasil analisis menunjukkan bahwa sebagian besar komponen memiliki nilai $\beta > 1$, yang mengindikasikan bahwa kerusakan terjadi akibat keausan dan usia pakai. Temuan ini memperkuat urgensi penerapan strategi perawatan berbasis kondisi dan waktu pakai untuk mencegah kerusakan yang lebih parah dan tidak terduga [7].

- H_0 : Data time to failure pada mesin TAKUMA N 750 mengikuti distribusi Weibull
 - H_1 : Data time to failure pada mesin TAKUMA N 750 tidak mengikuti distribusi Weibull
- Kriteria pengambilan keputusan ditetapkan berdasarkan Perbandingan antara lain statistik uji mann's test dengan nilai kritis, diterima jika $M < F_{\text{crit}, k_1, k_2}$.
- $n = 9$
 - $k_1 = \frac{r}{2} = \frac{0.9277}{2} = 0.4638$
 - $K_2 = \frac{r-1}{2} = \frac{0.9277-1}{2} = \frac{-0.0723}{2} = -0.0361$
 - $Z_i = \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{i - 0.5}{n + 0.25} \right) \right]$
 $= \frac{v_{\alpha}}{9.25} = 0.054054$
 $= 1 - 0.054054 = 0.945946$
 $= -\ln(0.945946) = -0.0556$
 $= \ln(-0.0556) = -2.89011$

$$M_i = Z_{i+1} - Z_i$$

- $M_i =$
 $= M_i = -1,89011447 - (-2,89011447)$
 $= 1,15811737$

Tabel 3. Perhitungan Uji Mann's Test

No	Ti (jam)	ln (ti)	$1 - ((i - 0,5)/(n + 0,25))$	Zi	Mi	Ln (ti+1) - ln t	$(\ln t - 1 - \ln t)/Mi$
1	72	4,276666119	0,945945946	-2,89011447	1,15811737	0,013793322	0,569905519
2	48	3,871201011	0,837837838	-1,731997102	0,57707172	0,020619287	-2,85820576
3	72	4,276666119	0,72972973	-1,154925382	0,4113765	0,013793322	-6,13331039
4	48	3,871201011	0,621621622	-0,743548879	0,33780213	0,020619287	-7,60981859
5	24	3,17805383	0,513513514	-0,405746748	0,30356751	0,040821995	-7,33352404
6	72	4,276666119	0,405405405	-0,102179235	0,29529453	0,013793322	-10,2200338
7	48	3,871201011	0,297297297	0,193115294	0,31671449	0,020619287	-8,37285168
8	24	3,17805383	0,189189189	0,509829786	0,41137112	0,040821995	-4,59002095
9	72	4,276666119	0,081081081	0,921200907	-	0,013793322	8,905170009

$$M = \frac{k_1 \sum_i \frac{\ln t - \ln t_i}{M_i}}{k_2 \sum_i \frac{\ln(t_{i+1}) - \ln(t_i)}{M_i}}$$

$$\text{Penyebut} = -0.0361 \frac{-4,27666}{811737} \frac{5,27666 - 4,27666}{1,15811737}$$

$$M = \frac{-0.1517}{-0.01312}$$

$$M = 1.1562$$

Jadi keputusan $M < F_{\text{crit}} = 1,1562 < 3,50$ maka H_0 diterima. Sehingga uji distribusi Weibull akan dilakukan dua parameter yakni θ atau disebut dengan scale parameter juga β atau disebut dengan shape parameter. Maka dari itu untuk hasil perhitungannya dijelaskan sebagai berikut.

1. θ (Scale parameter)

$$\alpha = \exp\left(\frac{\sum y_i - \beta \sum x_i}{n}\right)$$

$$\alpha = \exp\left(\frac{-7,921438357 - 3.64 (35,07637517)}{9}\right)$$

$$= \exp\left(\frac{-7,921438357 - 3.64 (35,07637517)}{9}\right)$$

$$\theta = 0,00021131$$

2. β (shape parameter)

$$\beta = \frac{n \sum x_i y_i - (\sum x_i)(\sum y_i)}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

$$= \frac{9(-7,921438357) - 138,3181365(1.2303520950665925289)}{552,9127217961 - (138,3181365)^2}$$

$$= \frac{-73,89295581513 - 170,131334334074711}{-10,220212684868689}$$

$$= 0,192815$$

1. Perhitungan nilai *mean time to failure* pada mesin TAKUMA N 750

Distribusi yang paling sesuai untuk menggambarkan data kerusakan mesin TAKUMA N 750 berdasarkan hasil analisis yakni distribusi Weibull. Pemilihan distribusi ini didasarkan pada kesesuaian pola data kerusakan dengan karakteristik distribusi Weibull yang mampu mempresentasikan tingkat keandalan serta laju kerusakan suatu komponen mesin. Berdasarkan distribusi terpilih tersebut, dilakukan perhitungan nilai *mean time to failure* untuk mesin TAKUMA N 750. Nilai ini mempresentasikan rata-rata waktu operasi yang dapat dicapai komponen sebelum mengalami kerusakan. Berikut merupakan perhitungan MTTF untuk kerusakan mesin TAKUMA N 750.

$$MTTF = \theta \Gamma\left(1 - \frac{1}{\beta}\right)$$

$$= 0,00021131 \times \Gamma(-4,1863)$$

$$= 0,00021131 \times 0.9277(-4,1863)$$

$$= -0,0000377$$

Proses penentuan jenis distribusi yang paling distribusi yang paling sesuai untuk menggambarkan data kerusakan atau waktu kegagalan, digunakan metode *least square curve fitting*. Metode ini bertujuan untuk membandingkan beberapa alternatif distribusi dengan cara mengukur tingkat kesesuaian kurva distribusi terhadap data aktual. Kriteria pemilihan distribusi terbaik didasarkan pada nilai koefisien korelasi. Semakin besar nilai r atau nilai *index of fit* maka semakin baik pula tingkat kesesuaian antara distribusi teoritis dengan data empiris sehingga distribusi tersebut dapat dipilih sebagai model yang paling representatif.

1. Penentuan distribusi perbaikan mesin TAKUMA N 750.

A. Distribusi normal

- $X_i = t_i = 72$
- $Y_i = z_i = \phi^{-1} [F(t_i)]$
 $= \phi^{-1} [F(0.07446809)]$
 $= -2,558940818$

- Koefisien korelasi (r)

$$r = \frac{n \sum x_i y_i - (\sum x_i)(\sum y_i)}{\sqrt{[n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2][n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2]}}$$

$$= \frac{9(-26,70) - (480)(0)}{\sqrt{[9(28800) - (480)^2][9(28.9418471) - (0)^2]}}$$

$$= -0.0877$$

Tabel 4. Perhitungan *Time to repair* distribusi normal

No	Ti (jam)	$X_i = t_i$	X_i^2	$F(t_i)$	Y_i	Y_i^2	$X_i \cdot Y_i$
1	72	72	5184	0,07446809	-2,558940818	6,54817811	-184,2437389
2	48	48	2304	0,18085106	-1,611994375	2,598525866	-77,37573002
3	72	72	5184	0,28723404	-1,082929422	1,172736132	-77,97091835
4	48	48	2304	0,39361702	-0,69266027	0,47977825	-33,24769297
5	24	24	576	0,5	-0,366512921	0,134331721	-8,796310094
6	72	72	5184	0,60638298	-0,070018179	0,004902545	-5,041308923
7	48	48	2304	0,71276596	0,221107814	0,048888665	10,61317505
8	24	24	576	0,81914894	0,536540994	0,287876238	12,87698386
9	72	72	5184	0,92553191	0,954505028	0,911079849	68,72436205
	Total	480	28800	4,5	-4,670902149	12,18629738	-294,4611783

Uji kecocokan adalah tahapan dalam analisis keandalan yang bertujuan untuk memastikan apakah data empiris sesuai dengan distribusi teoritis yang dipilih. Pada komponen mesin TAKUMA N 750 hasil analisis metode *least square curve fitting* menunjukkan bahwa distribusi yang paling sesuai dengan distribusi eksponensial. Untuk membuktikan kebenaran hasil pemilihan distribusi tersebut, dilakukan pengujian lebih lanjut menggunakan metode Kolmogorov-smirnov. Dalam uji kolmogrov-smirnov, hipotesis yang digunakan dapat dirumuskan sebagai berikut:

H_0 : Data time to failure mengikuti distribusi yang diasumsikan yakni distribusi eksponensial

H_1 : Data time to failure tidak mengikuti distribusi eksponensial

$\alpha = 0,05$

H_0 diterima apabila $D_n < D_{tabel}$

$D_n = \max(D_1, D_2)$

$D_{nmax} = 0,4533$

$D_1 = \max(\phi(\frac{t_i - t_{bar}}{s}) - (\frac{t-1}{n}))$

$= \phi(\frac{72-53.3}{19.97}) - (\frac{1-1}{9})$

$= 1,0$

$D_2 = \max(\frac{1}{9}) - \phi(\frac{72-53.33}{19.97})$

$= 0.9$

$$S = \sqrt{\frac{\sum(ti-t)^2}{9-1}} = \sqrt{\frac{\sum 3.189.33}{8}}$$

$$= 19.97$$

Berdasarkan hasil analisis menggunakan metode *least square curve fitting*, distribusi yang paling sesuai untuk menggambarkan data waktu perbaikan mesin TAKUMA N 750 yakni distribusi normal. Dengan mengetahui distribusi kerusakan dan nilai MTTR, perusahaan dapat merencanakan tindakan pemeliharaan. Hal ini diharapkan mampu meminimalkan *downtime* mesin, meningkatkan ketersediaan operasional dan mendukung pencapaian target produktivitas secara optimal.

1. Perhitungan nilai *mean time to repair* pada mesin TAKUMA N 750

Berdasarkan hasil analisis, distribusi yang paling sesuai untuk data waktu perbaikan mesin TAKUMA N 750 yakni distribusi normal. Selanjutnya, dilakukan perhitungan *mean time to repair* untuk mengetahui rata-rata waktu yang dibutuhkan dalam proses perbaikan mesin TAKUMA N 750. Perhitungan MTTR ini memberikan gambaran mengenai keandalan sistem perbaikan serta dapat menjadi acuan dalam perencanaan pemeliharaan mesin agar lebih efektif dan efisien.

$$MTTR = \frac{1}{\mu}$$

$$= \frac{1}{53.33}$$

$$= 0.0187$$

Hasil perhitungan Mean Time To Repair (MTTR) sebesar 0.0187 menunjukkan bahwa waktu rata-rata yang dibutuhkan untuk memperbaiki komponen setelah terjadi kerusakan tergolong sangat cepat. Nilai ini mengindikasikan bahwa proses perbaikan di unit PKS Sisumut telah berjalan cukup efisien, baik dari segi kesiapan teknisi, ketersediaan suku cadang, maupun prosedur perawatan yang diterapkan. Dalam konteks metode RCM, MTTR digunakan untuk mengevaluasi efektivitas proses pemulihan dan sebagai dasar dalam menentukan strategi perawatan yang dapat meminimalkan *downtime*. Semakin kecil nilai MTTR, semakin tinggi tingkat *availability* sistem secara keseluruhan, sehingga berdampak positif terhadap kontinuitas produksi dan pengendalian biaya operasional [8].

Maka berdasarkan hasil pengolahan data *time to failure* dan *time to repair* pada mesin TAKUMA N 750, pola kerusakan mesin lebih sesuai mengikuti Weibull dengan nilai koefisien korelasi sebesar 0,9277 dibandingkan distribusi normal yang hanya menunjukkan nilai korelasi - 0,0877. Hal ini menunjukkan bahwa kerusakan mesin cenderung memiliki pola tertentu yang dapat diprediksi pada fase awal ataupun fase aus. Sementara itu, untuk pola perbaikan atau *time to repair*, distribusi yang paling sesuai yakni distribusi normal dengan nilai rata-rata waktu perbaikan (MTTR) sebesar 53,33 jam. Kondisi ini menunjukkan bahwa setiap kali mesin mengalami kerusakan, dibutuhkan waktu relatif lama untuk memperbaikinya, sehingga berimplikasi pada tingginya *downtime* dan rendahnya tingkat *availability* mesin.

Berdasarkan hasil analisis distribusi kerusakan pada mesin boiler TAKUMA N 750 diketahui bahwa pola kegagalan mengikuti distribusi Weibull. Hal ini menunjukkan bahwa kerusakan mesin tidak terjadi secara acak, melainkan memiliki pola yang dapat diprediksi, terutama pada fase keausan komponen. Nilai MTTR yang relatif tinggi yakni 53,33 jam mengindikasikan bahwa setiap kali mesin mengalami kerusakan, waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikannya ke kondisi normal cukup lama. Kondisi ini tentu berimplikasi pada tingginya *downtime* dan menurunnya tingkat ketersediaan mesin dalam mendukung proses produksi. Oleh karena itu Pendekatan yang dianjurkan yakni melakukan inspeksi cepat dan rutin, menjadwalkan preventive maintenance secara berkala. Sehingga strategi ini diharapkan mampu meminimalkan *downtime*, meningkatkan efisiensi operasional dan menjaga keberlanjutan proses produksi.

Tabel 5. Tabel Frekuensi Perawatan Optimal

Jenis Perawatan	Interval yang disarankan	Kegiatan Utama	Tujuan/Manfaat	Penanggungjawab
Inspeksi Harian (Visual & Operasional)	Setiap shift/setiap hari operasi	Cek kebocoran, suara tidak wajar, getaran, temperatur, indikator kontrol, check list singkat	Deteksi dini tanda awal kegagalan dan cegah kerusakan mendadak	Operator shift dengan durasi 10-15 menit
Pemeriksaan Mingguan (Minor check)	1 x minggu	Pemeriksaan oli, kencangkan baut, pembersihan filter dan catat parameter operasi	Menjaga kondisi operasi optimal, kurangi gangguan kecil yang menjadi besar	Teknisi pemeliharaan dan checklist tertulis
Preventive Maintenance Bulanan	1 x bulan	Ganti filter, pemeriksaan sistem kontrol, kalibrasi sensor penting, pengecekan suku cadang	Menurunkan frekuensi kegagalan acak dan menjaga performa	Tim maintance sediakan suku cadang kecil
Preventive Maintenance Triwulan	3 bulan	Pemeriksaan komponen aus, pembersihan saluran besar, pengecekan alignment	Menangani keausan progresif, mengurangi probabilitas failure wear out	Tim ahli dan persiapan downtime terjadwal
Overhaul	12 bulan	Bongkar sebagian komponen kritis, penggantian komponen aus berat, pengecekan dan rekondisi heat exchanger	Mengembalikan kondisi ke near new mencegah kegagalan besar	Mengembalikan kondisi ke near new mencegah kegagalan besar
Condition Based Monitoring	Sensor terus-menerus & analisis bulanan	Pasang sensor temperatur, analisis tren dan alarm threshold	Deteksi perubahan performa sebelum kegagalan, intervensi tepat waktu	Rencana matikan mesin dan rencana suku cadang besar
Spare Parts Stocking	Ketersediaan (safety stock)	Sediakan suku cadang kritis di gudang	Mempercepat perbaikan sehingga menurunkan MTTR	Tetapkan minimum stock level berdasarkan lead time
Pelatihan & Simulasi Perbaikan	6 bulan sekali	Latihan troubleshooting, time attack repair dan update SOP	Mengurangi waktu perbaikan dari 53 jam menjadi lebih cepat	Program HR & maintenance dan evaluasi waktu perbaikan

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan mengenai penerapan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) pada mesin TAKUMA N 750 SA, maka dapat disimpulkan beberapa poin berikut:

1. Jenis – jenis kerusakan utama yang terjadi pada mesin boiler TAKUMA N 750 SA terdiri dari *kerusakan pompa air umpan, kerusakan burner, kebocoran pipa uap, dan kerusakan pada sistem kontrol*. Kerusakan-kerusakan tersebut memiliki frekuensi yang cukup tinggi dan berdampak langsung terhadap penurunan kinerja mesin pada proses produksi.
2. Hasil perhitungan *Mean Time To Failure* (MTTF) serta *Mean Time To Repair* (MTTR) menunjukkan bahwa waktu rata-rata kerusakan lebih rendah daripada waktu perbaikan, sehingga menyebabkan terjadinya *downtime* yang cukup besar jika tidak dilakukan tindakan perawatan yang tepat.
3. Melalui pendekatan RCM, strategi perawatan yang disarankan untuk diterapkan pada mesin boiler TAKUMA N 750 SA adalah:
 - *Time Directed Maintenance (TDM)* untuk komponen-komponen yang memiliki pola kerusakan usia (*age-related failure*).
 - *Condition Directed Maintenance (CDM)* untuk komponen yang menunjukkan pola kerusakan secara progresif dan dapat dideteksi melalui inspeksi berkala.
 - *Failure Finding Maintenance (FFM)* untuk komponen yang berfungsi sebagai proteksi (*proteksi temperatur, valve over-pressure, dan alarm system*).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada PTPN IV Regional 1 Unit PKS Sisumut atas dukungan dan kerja sama yang diberikan selama proses penelitian ini. Bantuan berupa akses data, informasi, serta bimbingan teknis yang diberikan oleh tim sangat berharga dalam mendukung kelancaran dan keberhasilan penelitian ini.

REFERENSI

- [1] Ebeling, C. E. (2010). *An introduction to reliability and maintainability engineering* (3rd ed.). Waveland Press.
- [2] Mobley, R. K. (2002). *An introduction to predictive maintenance* (2nd ed.). Butterworth-Heinemann
- [3] Dhillon, B. S. (2006). *Maintainability, maintenance, and reliability for engineers*. Taylor & Francis
- [4] Stamatis, D. H. (2003). *Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution*. Quality Press.
- [5] Bailey, K. D. (2004). *Methods of social research* (4th ed.). Free Press.
- [6] Smith, A. M., & Hinchcliffe, G. R. (2004). *RCM: Gateway to world class maintenance* (2nd ed.). Elsevier Butterworth-Heinemann.

- [7] Abernethy, R. B. (2006). *The new Weibull handbook: Reliability and statistical analysis for predicting life, safety, supportability, risk, cost and warranty claims (5th ed.)*. Robert B. Abernethy
- [8] Rudiana, I. F., Nursolih, E., & Yulia, L. (2024). Analisis pemeliharaan mesin produksi dengan metode RCM (Reliability Centered Maintenance) pada PT. Surya Agrolika Reksa. *Jurnal Industrial Galuh*, 6(2), 65-74. <https://doi.org/10.25157/jig.v6i2.4079>
- [9] O'Connor, P. D. T. (2001). *Practical reliability engineering* (4th ed.). John Wiley & Sons.
- [10] Assauri, S. (2011). *Manajemen pemasaran: Dasar konsep dan strategi* (Edisi revisi). Jakarta: PT RajaGrafindo Persada.
- [11] Ahyari, A. (2012). *Manajemen produksi perencanaan sistem produksi* (Edisi ke-4). Yogyakarta: BPFE.
- [12] Prawirosentono, S. (2009). *Manajemen sumber daya manusia*. Jakarta: Salemba Empat.
- [13] Pranoto, H. (2015). *Reliability centered maintenance*. Jakarta: Mitra Wacana Media.
- [14] Razak, M. A. (2017). Pengaruh kualitas pelayanan dan citra perusahaan terhadap kepuasan nasabah. *Jurnal Manajemen Bisnis Krisnadwipayana*, 5(2).
- [15] Higgins, L. R., & Mobley, R. K. (Eds.). (2002). *Maintenance engineering handbook* (6th ed.). McGraw-Hill.