

Maintenance System for Overhead Crane Equipment with Reliability Centered Maintenance (RCM) II Method and Age replacement [Sistem Perawatan Alat *Overhead Crane* Dengan Metode *Reliability Centered Maintenance (RCM) II* Dan *Age replacement*]

Ferdiansyah Wendyantoro¹⁾, Indah Apriliana Sari Wulandari^{*,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. Equipment maintenance is very important to ensure that the equipment operates properly within a certain period of time. PT. XYZ, which is engaged in the shipping industry, uses a demag type overhead crane with a capacity of 5 tons in its production process. This study aims to evaluate the reliability level of overhead cranes in existing conditions by calculating the reliability value. In addition, this study also aims to determine the critical component replacement interval appropriately so that replacement is carried out before downtime occurs. The results of the study identified three critical components, namely Contactor, Photoelectric Sensor, and Motor Hoist, with MTTR values of 3.65667 hours, 4.15333 hours, and 1.1546 hours, respectively. The application of the age replacement method showed an increase in reliability: Contactor 39%, Photoelectric Sensor 40%, and Motor Hoist 83%. The recommended component replacement interval is every 11 days to reduce downtime and increase operational efficiency.

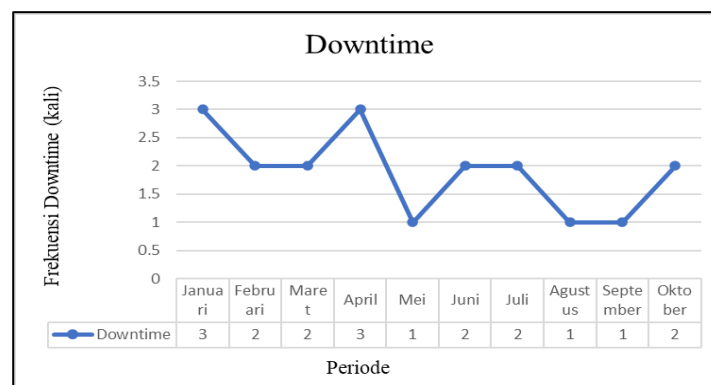
Keywords - Reliability Centered Maintenance (RCM) II; Age replacement; Downtime; Efficiency.

Abstrak. Pemeliharaan alat sangat penting untuk memastikan alat beroperasi dengan baik dalam jangka waktu tertentu. PT. XYZ, yang bergerak di industri perkapalan, menggunakan alat overhead crane tipe demag berkapasitas 5 ton dalam proses produksinya. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi tingkat keandalan overhead crane pada kondisi eksisting dengan menghitung nilai reliability. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menentukan interval penggantian komponen kritis dengan tepat agar penggantian dilakukan sebelum terjadi downtime. Hasil penelitian mengidentifikasi tiga komponen kritis, yaitu Contactor, Photoelectric Sensor, dan Motor Hoist, dengan nilai MTTR masing-masing 3.65667 jam, 4.15333 jam, dan 1.1546 jam. Penerapan metode age replacement menunjukkan peningkatan reliability: Contactor 39%, Photoelectric Sensor 40%, dan Motor Hoist 83%. Rekomendasi interval penggantian komponen adalah setiap 11 hari untuk mengurangi downtime dan meningkatkan efisiensi operasional.

Kata Kunci - Reliability Centered Maintenance (RCM) II; Age replacement; Downtime; Efisiensi.

I. PENDAHULUAN

PT. XYZ adalah perusahaan yang berfokus di sektor perkapalan dan pembuatan alutsista maritim Indonesia, mencakup produksi kapal perang, kapal niaga, kapal selam, kapal tanker, serta alat utama sistem pertahanan untuk matra laut. PT. XYZ ini juga menawarkan layanan perbaikan dan pemeliharaan kapal, serta menangani proyek non-kapal di bidang minyak dan gas, pembangkit energi, dan industri berat. Dengan didukung peralatan yang terintegrasi antar satu dengan lainnya di mulai dengan pengangkutan bahan baku hingga proses produksi menjadi produk jadi. Crane adalah salah satu mesin dalam sistem produksi yang digunakan untuk memindahkan tiap-tiap komponen mulai dari area fabrikasi, *assembly*, dan *erection*. Alat berat yang digunakan di PT. XYZ adalah jenis demag overhead crane berkapasitas 5 ton. Beberapa subsistem overhead crane termasuk hoist, girder, trolly, dan motor penggerak. Berikut ini adalah data downtime bulan Januari hingga Oktober tahun 2024.



Gambar 1. Data waktu downtime alat berat overhead crane (jam)

Permasalahan yang kerap muncul pada PT. XYZ yaitu alat berat berjenis *overhead crane* sering mengalami kerusakan pada saat proyek berjalan. Data dari Januari hingga Oktober 2024 menunjukkan adanya *downtime* sebesar 9.120 menit dalam jam kerja. Perusahaan menggunakan pendekatan *corrective maintenance*, yakni perawatan yang dilakukan setelah mesin mengalami kerusakan. Sehingga menyebabkan gangguan selama proyek berlangsung, keterlambatan penyelesaian pengerjaan, dan pelanggaran kontrak yang sudah disepakati.

Penelitian [1] menunjukkan bahwa diperlukan perencanaan perawatan pada mesin-mesin prioritas untuk mengevaluasi dan menyempurnakan jadwal perawatan. Hasil yang diperoleh mencakup penjadwalan ulang perawatan, di mana komponen yang digunakan secara terus-menerus akan mengalami kerusakan dengan potensi waktu selama pengoperasian, dan kerusakan potensial ini dapat menyebabkan kerusakan berkelanjutan pada sparepart. Pada penelitian [2] menggunakan metode *age replacement* menunjukkan bahwa untuk mengurangi biaya perawatan dan *downtime* mesin, dengan penentuan interval penggantian komponen berdasarkan umur dan data historis kerusakan. Penelitian [3] menunjukkan bahwa kedua metode ini meningkatkan keandalan dan efisiensi operasional. Penerapannya secara signifikan mengurangi *downtime*, meningkatkan ketersediaan mesin, dan mendukung efisiensi produksi.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan di atas, maka pada penelitian ini akan menggunakan metode RCM untuk mengidentifikasi komponen kritis[4]. Mengajukan rekomendasi *preventive maintenance* dengan mengidentifikasi komponen serta menentukan tindakan pemeliharaan yang paling optimum[5]. Kemudian digunakan *age replacement* untuk mengoptimalkan kinerja mesin, meminimalisir *downtime*, menentukan interval penjadwalan penggantian dan pemeriksaan dari mesin kritis[6]. Menentukan interval penggantian komponen menggunakan metode *age replacement* untuk menghasilkan jadwal yang meminimalkan *downtime*.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat keandalan alat berat pada kondisi eksisting dengan menghitung nilai reliabilitas saat penelitian ini dilakukan. Selain itu, tujuan lainnya adalah untuk menentukan interval waktu penggantian komponen kritis alat *overhead crane* secara tepat, sehingga penggantian dapat dilakukan sebelum terjadi *downtime*. Integrasi kedua metode di atas diharapkan dapat membantu perusahaan dalam meningkatkan manajemen perawatan alat berat, mengurangi tingkat kerusakan, serta menjadi acuan dalam mengatasi masalah yang sering terjadi pada *overhead crane*.

II. METODE

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di PT. XYZ berlokasi di Jawa Timur. Waktu penelitian berlangsung selama 1 tahun, yang dimulai pada bulan Januari-Desember 2024.

B. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui dua sumber, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh secara langsung melalui observasi serta wawancara dengan kepala bagian *maintenance* dan operator *crane*. Sementara itu, data sekunder mencakup informasi mengenai kegagalan dan perbaikan mesin selama periode Januari hingga Oktober 2024, serta literatur terkait yang mendukung penelitian.

C. Alur Penelitian

Penelitian dimulai dengan melakukan observasi terhadap alat berat *overhead crane* di PT. XYZ dengan mencari beberapa sumber referensi yang relevan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) dan *Age replacement* dimana kedua metode ini digunakan untuk meningkatkan manajemen perawatan alat berat, mengurangi tingkat kerusakan dan menjadi acuan dalam mengatasi masalah dari sebuah alat produksi.

D. *Reliability Centered Maintenance* (RCM)

RCM adalah pendekatan pemeliharaan yang mengintegrasikan praktik dan strategi antara *preventive maintenance* (PM) dan *corrective maintenance* (CM) untuk mengoptimalkan masa pakai (*life time*) serta kinerja aset, sistem, atau peralatan dengan biaya seminimal mungkin[7]. Pendekatan sistematis dalam RCM bertujuan untuk menilai fasilitas dan sumber daya guna mencapai tingkat keandalan yang tinggi dan efisien. Fokus utama dalam pendekatan ini adalah pemahaman bahwa dampak atau risiko dari kegagalan memiliki prioritas yang lebih besar dibandingkan dengan karakteristik teknis itu sendiri[8]. RCM adalah metode yang digunakan untuk memilih, mengembangkan, dan menciptakan alternatif kriteria operasional berdasarkan strategi perawatan, aspek ekonomi, dan keamanan. Metode ini menganalisis tingkat kerusakan pada mesin-mesin yang ada untuk mengidentifikasi komponen-komponen kritis yang sering menyebabkan kerusakan atau mengakibatkan *downtime* pada fungsi mesin. Setiap komponen tersebut kemudian akan diberikan jadwal perawatan guna mengurangi *downtime* dan mencegah kegagalan fungsi mesin[9]. Metode ini dirancang untuk mengenali dan menganalisis faktor penyebab kerusakan pada alat *overhead crane* dengan menerapkan RCM serta mengelola suku cadang komponen kritis guna memastikan ketersediaannya tetap terjaga[10]. Formula yang digunakan

adalah penggantian komponen dilakukan berdasarkan nilai *reliability* yang optimal. Nilai *reliability* dapat dihitung dengan rumus:

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (1)$$

Sumber : [5] [11] [12]

E. Age replacement

Metode *age replacement* adalah strategi perawatan preventif yang didasarkan pada masa pakai komponen dan pola waktu kerusakannya. Perencanaan penggantian komponen dilakukan dengan mempertimbangkan usia serta waktu kerusakan yang diprediksi[9]. *Age replacement* memungkinkan prediksi penggantian komponen secara akurat ketika komponen tersebut mencapai usia tertentu, berdasarkan data historis kerusakan. Metode ini juga membantu mencegah terjadinya kegagalan pada komponen[13]. Pada metode *age replacement*, waktu penggantian preventif ditentukan berdasarkan usia komponen. Pendekatan ini dirancang untuk mengoptimalkan masa pakai komponen dan menghindari penggantian yang tidak perlu. Dengan demikian, setelah komponen diganti, jadwal penggantian berikutnya akan mengikuti interval waktu yang telah direncanakan sebelumnya.

Perhitungan nilai *age replacement* dilakukan untuk menentukan waktu penggantian komponen dengan mempertimbangkan kriteria minimisasi *downtime*, sebagai berikut:

$$D(tp) = \frac{T_p \cdot R(tp) + T_f \cdot (1 - R(tp))}{(tp + T_p) \cdot R(tp) + (M(tp) + T_f) \cdot (1 - R(tp))} \quad (2)$$

Sumber : [5] [3] [14]

Keterangan Rumus:

T_p = Waktu interval penggantian pencegahan

T_f = Waktu yang dibutuhkan untuk melakukan penggantian kerusakan komponen

T_p = Waktu yang ditentukan untuk melakukan penggantian *preventive*

$R(tp)$ = Probabilitas atau kemungkinan terjadinya penggantian pencegahan pada saat tp

$M(tp)$ = Waktu rata-rata terjadinya kerusakan jika penggantian perbaikan pada tp

F. Mean Time To Failure (MTTF) dan Mean Time To Repair (MTTR)

Mean Time To Failure (MTTF) adalah rata-rata waktu sebelum terjadinya kegagalan berdasarkan distribusi kerusakan dan berfungsi untuk memprediksi atau mengevaluasi kemungkinan kerusakan saat mesin atau sistem beroperasi secara normal. Memperkirakan berapa lama sebuah aset yang tidak dapat diperbaiki dapat berfungsi sebelum mengalami kerusakan[15]. Pemantauan MTTF berperan dalam mengurangi gangguan operasional, memperpanjang masa pakai aset, serta mendukung pengambilan keputusan yang lebih efektif[16]. Selain itu, MTTF menghitung rata-rata waktu yang dibutuhkan sebelum suatu komponen, peralatan, atau sistem mengalami kegagalan. Indikator ini penting untuk mengevaluasi keandalan peralatan dalam periode tertentu. Semakin tinggi nilai MTTF, semakin besar pula tingkat keandalan peralatan tersebut[17]. *Mean Time To Repair* (MTTR) adalah metrik yang digunakan untuk mengukur waktu rata-rata yang diperlukan untuk memperbaiki sistem atau peralatan setelah mengalami kegagalan. MTTR merupakan indikator efisiensi dalam menangani kegagalan. Semakin rendah MTTR, semakin cepat sistem dapat dipulihkan setelah kegagalan, sehingga mengurangi waktu henti. Di bawah ini adalah nilai MTTF dan MTTR untuk masing-masing distribusi.

Distribusi Normal

$$MTTF = \mu \quad (3)$$

Distribusi Lognormal

$$MTTF = t_{med} \cdot e^{\frac{s^2}{2}} \quad (4)$$

Distribusi Weibull

$$MTTF = \theta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (5)$$

Distribusi Gamma

$$\text{Nilai } \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \text{ didapat dari } \Gamma(x) = \text{tabel fungsi gamma} \quad (6)$$

Distribusi Eksponensial

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad (7)$$

Sumber : [18]

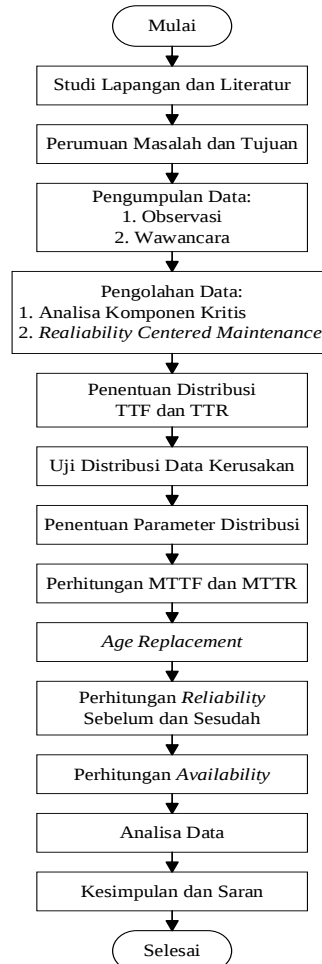
G. Availability

Ketersediaan adalah ukuran yang menunjukkan seberapa siap suatu sistem atau peralatan untuk digunakan saat diperlukan. Ketersediaan dihitung sebagai rasio antara waktu sistem atau peralatan beroperasi dengan baik (waktu aktif) terhadap total waktu yang direncanakan, yaitu gabungan antara waktu aktif dan waktu henti. Ketersediaan suatu mesin atau peralatan produksi menunjukkan seberapa optimal alat tersebut dapat dioperasikan dalam proses produksi. Jika tingkat ketersediaannya tinggi, berarti mesin atau peralatan tersebut selalu siap digunakan setiap saat ketika dibutuhkan[19].

$$Availability = \left(\frac{\text{Total Waktu Operasi Aktual}}{\text{Total Loading Time}} \right) \times 100\% \quad (7)$$

Sumber : [5] [17] [19]

Penelitian ini disusun secara sistematis dan terarah untuk memudahkan pelaksanaannya. Dalam hal ini, dibuat sebuah alur atau *flowchart* yang menggambarkan tahapan-tahapan yang dilakukan selama proses penelitian. Alur penelitian tersebut terlihat pada **Gambar 2**.

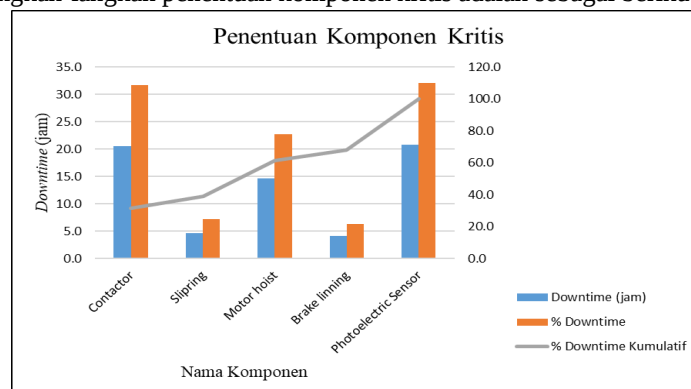


Gambar 2. Diagram Alur Penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisa Komponen Kritis

Untuk menentukan komponen dengan tingkat risiko tinggi, dilakukan identifikasi untuk menentukan komponen kritis menggunakan diagram Pareto. Hal ini didasarkan pada data yang dikumpulkan selama proses pengumpulan data. Langkah-langkah penentuan komponen kritis adalah sebagai berikut:



Gambar 3. Diagram Pareto Penentuan Komponen Kritis

Gambar 3 menunjukkan analisis komponen kritis berdasarkan *downtime* (jam), persentase *downtime*, dan persentase *downtime* kumulatif. *Photoelectric Sensor* dan *Contractor* memiliki *downtime* tertinggi, diikuti oleh *Motor Hoist* sedangkan *Slipring* dan *Brake Lining* lebih rendah. Hasil ini membantu menentukan prioritas perbaikan untuk mengurangi total *downtime*. Selanjutnya, FMEA akan ditentukan dalam perhitungan ini dengan menggunakan nilai estimasi yang merepresentasikan tingkat kerusakan alat selama proses produksi. Berdasarkan analisis FMEA, nilai *Risk Priority Number* (RPN) untuk setiap komponen diperoleh dengan menetapkan peringkat tingkat keparahan, frekuensi kejadian, dan tingkat deteksi.

Tabel 1. FMEA Alat Berat *Overhead Crane* (ST - OC - 020).

FMEA Worksheet			SISTEM : OVERHEAD CRANE (ST - OC - 02)						
			SUBSISTEM : OVERHEAD CRANE (ST - OC - 02)						
Part	Function	Potential Failure Mode	Potential Effect Of Failure	Sev (1-10)	Potential Cause Of Failure	Occ (1-10)	Current Controls	Det (1-10)	RPN
Contactor	Sakelar	Coil terbakar	Umur pakai mesin berkurang	2	Mengakibatkan gesekan yang mengeluarkan percikan api	4	Pengecekan pada <i>electrode</i> pin	8	64
			Mesin mati tiba tiba, mengganggu operasi	7	Tidak dapat mengaktifkan atau memutus	8	Pengecekan pada pemasangan <i>electrode</i> pin	6	336
		Contactor kabel kendur	<i>Electrical breakdown</i>	6	Menyebabkan <i>magnetic contactor</i> terbakar	8	Pengecekan sebelum mesin beroperasi	3	144
			Mesin tidak dapat beroperasi	8	Mesin tidak dapat beroperasi dengan jangka panjang	1	Mengontrol secara terjadwal	1	8
		Contact macet	Gangguan suplai listrik, menyebabkan ketidakstabilan operasi mesin	6	Menyebabkan arus tidak stabil	4	Pengecekan pada instalasi	3	72
			Arus tidak stabil, resiko komponen lain rusak	7	Menyebabkan macet pada aliran listrik	5	Mengontrol secara terjadwal	4	140
TOTAL RPN									764
Motor Hoist	Motor elektrik	Vibrasi kasar pada <i>bearing</i>	Mengalami kerusakan pada bearing	6	Perputaran motor tidak lancar	4	Mengontrol pelumasan secara terjadwal	3	72
			Posisi bearing mengalami pergeseran	3	Poros pada roll penggerak menjadi tidak stabil	4	Pengecekan posisi <i>bearing</i> pada rol penggerak	4	48
		Vibrasi kasar pada <i>gear</i>	Mengalami kerusakan pada gigi gear penggerak	8	Rol penggerak tidak dapat beroperasi dan mengalami selip	2	Pengecekan pada gear penggerak	4	64
			Posisi gear mengalami pergeseran	3	Mengakibatkan gigi gear cepat aus	1	Pengecekan posisi gear dipastikan benar	3	9
		Kumparan terbakar	Motor mati total	8	Mengakibatkan motor tidak berfungsi	6	Pengecekan pada instalasi	3	144
			TOTAL RPN						
Photoelectric Sensor	Modul sensor	Sensor kotor	Sensor gagal mengenali objek	6	Objek tidak terdeteksi	4	Penyesuaian pengkalibrasian	4	96
			Potensi kesalahan proses	4	Pembacaan data tidak akurat	6	Akumulasi Minyak atau cairan	8	192

Modul penerima rusak	Sistem gagal mendeteksi	8	Tidak menerima sinyal dari pemancar	1	Kerusakan elektronik pada modul	6	48
	Sensor mati total, tidak dapat mengirim data	8	Sinyal terganggu atau hilang	6	Koneksi kabel yang tidak stabil	8	384
Posisi sensor bergeser	Sensor membaca posisi yang salah, deteksi tidak akurat	5	Sensor membaca objek yang salah	4	Pengecekan pada instalasi	1	20
TOTAL RPN							740

Dari tabel FMEA (*Failure Modes and Effects Analysis*) terlihat total RPN tertinggi pada tiga komponen yaitu *Contactor* (saklar) dengan nilai RPN sebesar 764, *Photoelectric Sensor* (modul sensor) dengan nilai RPN sebesar 740, dan *Motor Hoist* (motor elektrik) dengan nilai RPN sebesar 337. Hasil dari perhitungan FMEA pada tabel 1 akan dilanjutkan penentuan distribusi ttf dan ttr.

B. Penentuan Distribusi TTF dan TTR

Untuk menentukan pola distribusi yang sesuai, diperlukan identifikasi distribusi yang tepat guna memastikan perhitungan yang akurat. Pada tahap ini, dilakukan uji *goodness of fit* dengan menggunakan *software* Minitab 19 untuk memperoleh nilai *Anderson-Darling* terkecil, sehingga distribusi data yang paling sesuai untuk setiap komponen dapat ditentukan. Pola distribusi TTF diperoleh dari data waktu antar kerusakan, sementara pola distribusi TTR diperoleh dari data waktu antar perbaikan. Selanjutnya, data tersebut diuji dengan bantuan *software* Minitab 19. Pola distribusi TTF dapat dilihat pada tabel 2, sedangkan pola distribusi TTR disajikan dalam tabel 3.

Tabel 2. Hasil Uji Data TTF Komponen Kritis

Nama Komponen	TTF			
	Normal	Lognormal	Weibull	Exponensial
Contactor	0.161	0.303	0.257	0.405
Photoelectric Sensor	0.270	0.384	0.359	0.526
Motor hoist	0.266	0.285	0.356	0.577

Berdasarkan tabel 2, untuk menentukan apakah suatu data mengikuti distribusi tertentu, dapat dipilih nilai statistik *Anderson-Darling* yang terkecil. Oleh karena itu, pola distribusi data untuk waktu antar kerusakan (TTF) pada komponen *Contactor*, *Photoelectric Sensor*, dan *Motor Hoist* mengikuti distribusi Normal.

Tabel 3. Hasil Uji Data TTR Komponen Kritis

Nama Komponen	TTR			
	Normal	Lognormal	Weibull	Exponensial
Contactor	0.374	0.451	0.460	0.573
Photoelectric Sensor	0.316	0.581	0.519	0.713
Motor hoist	0.328	0.203	0.250	0.362

Berdasarkan tabel 3, untuk menentukan apakah suatu data mengikuti distribusi tertentu, dapat dipilih nilai statistik *Anderson-Darling* yang terkecil. Dengan demikian, pola distribusi data untuk waktu antar kerusakan (TTF) dan waktu antar perbaikan (TTR) pada komponen *Contactor* dan *Photoelectric Sensor* mengikuti distribusi Normal. Sementara itu, hasil uji data (TTR) pada komponen *Motor Hoist* menunjukkan distribusi Lognormal.

C. Penentuan Parameter Distribusi

Setelah mengetahui distribusi dari masing masing komponen. Maka langkah selanjutnya diperlukan penentuan distribusi untuk melakukan perhitungan sesuai distribusinya menggunakan *software* Minitab 19. Parameter yang digunakan untuk perhitungan dari distribusi data waktu kerusakan yaitu parameter (μ) mean dan (σ) standar deviasi untuk distribusi Normal sedangkan parameter lokasi dan bentuk untuk distribusi Lognormal yang ada pada *Distribution Overview Plot*. Hasil pengujian sesuai dengan distribusinya dapat dilihat pada Tabel 4 dan 5 dengan hasil sebagai berikut:

Tabel 4. Penentuan Parameter TTF

Nama Komponen	Jenis Distribusi	Parameter	
		Mean (μ)	Standar Deviasi (σ)
Contactor	Normal	57.5	31.0685
Photoelectric Sensor	Normal	46.5	23.6907
Motor Hoist	Normal	33.75	15.4495

Pada tabel 4, semua komponen (*Contactor*, *Photoelectric Sensor*, dan *Motor Hoist*) mengikuti distribusi Normal. *Contactor* memiliki mean waktu kegagalan (μ) sebesar 57,5 dengan standar deviasi (σ) sebesar 31,0685.

Photoelectric Sensor memiliki mean waktu kegagalan sebesar 46,5 dengan standar deviasi 23,6907. Sedangkan Motor Hoist memiliki mean waktu kegagalan 33,75 dengan standar deviasi 15,4495.

Tabel 5. Penentuan Parameter TTR

Nama Komponen	Jenis Distribusi	Parameter	
		Mean (μ)	Standar Deviasi (σ)
Contactora	Normal	3.65667	1.96787
Photoelectric Sensor	Normal	4.15333	1.93297
Motor hoist	Lognormal	$T_{med} (Loc)$	$S (Scale)$
		0.902184	0.702793

Pada tabel 5, parameter distribusi TTR menunjukkan bahwa Contactora dan Photoelectric Sensor mengikuti distribusi Normal, sementara Motor Hoist mengikuti distribusi Lognormal. Untuk Contactora, mean waktu perbaikan (μ) adalah 3,65667 dengan standar deviasi 1,96787, sedangkan Photoelectric Sensor memiliki mean waktu perbaikan 4,15333 dengan standar deviasi 1,93297. Motor Hoist dengan distribusi Lognormal memiliki median waktu perbaikan (T_{med}/Loc) sebesar 0,902184 dan parameter skala (S) sebesar 0,702793.

D. Perhitungan MTTF dan MTTR

Selanjutnya setelah menetapkan parameter tiap distribusi yang diperoleh dari *software* minitab 19 dan dilanjutkan dengan perhitungan sesuai distribusinya. Hasil perhitungan MTTF dan MTTR dapat dilihat pada tabel 6 sebagai berikut:

Komponen *Contactora* dengan Distribusi Normal:

$$\begin{aligned} \text{MTTF} &= \mu \\ &= 57.5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MTTR} &= \mu \\ &= 3.65667 \end{aligned}$$

Komponen *Photoelectric Sensor* dengan Distribusi Normal:

$$\begin{aligned} \text{MTTF} &= \mu \\ &= 46.5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MTTR} &= \mu \\ &= 4.15333 \end{aligned}$$

Sedangkan Komponen Motor Hoist MTTF berdistribusi normal dan MTTR berdistribusi lognormal didapatkan perhitungan MTTF dan MTTR.

Distribusi Normal :

$$\begin{aligned} \text{MTTF} &= \mu \\ &= 33.75 \end{aligned}$$

Distribusi Lognormal :

$$\begin{aligned} \text{MTTR} &= t_{med} \cdot e^{\frac{s^2}{2}} \\ &= 0.902184 \times e^{\left(\frac{((0.702793))^2}{2}\right)} \\ &= 0.902184 \times e^{\left(\frac{(0.49392)}{2}\right)} \\ &= 0.902184 \times 1.2801 \\ &= 1.1546 \end{aligned}$$

Tabel 6. Perhitungan MTTF dan MTTR

Komponen	MTTF	MTTR
Contactora	57.5	3.65667
Photoelectric Sensor	46.5	4.15333
Motor hoist	33.75	1.1546

Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel 6, diperoleh nilai MTTF dan MTTR untuk setiap komponen kritis. Rata-rata waktu antar kerusakan untuk komponen *Contactora* adalah 57,5 hari, komponen *Photoelectric Sensor* sebesar 46,5 hari, dan komponen *Motor Hoist* sebesar 33,75 hari. Sementara itu, berdasarkan perhitungan MTTR, rata-rata waktu perbaikan untuk komponen Contactora adalah 3,65667 jam, komponen *Photoelectric Sensor* sebesar 4,15333 jam, sedangkan komponen Motor Hoist yang berdistribusi lognormal memiliki waktu perbaikan rata-rata 1,1546 jam.

E. Interval Waktu Penggantian dengan Metode *Age replacement*

Setelah diperoleh hasil perhitungan nilai MTTF dan MTTR maka dilakukan penentuan interval waktu penggantian pencegahan menggunakan metode *age replacement* untuk mencari umur penggantian optimal dimana

yang terpilih yaitu yang memiliki nilai *downtime* terkecil. Dibawah ini merupakan data – data yang dibutuhkan untuk mencari interval waktu penggantian pencegahan dengan minimasi *downtime* sebagai berikut:

Tabel 7. Interval Waktu Pergantian Pencegahan Komponen *Contactor*.

tp	R(tp)	F(tp)	M(tp)	D(tp)
1	0.956558	0.043442	941.5435	0.030121
2	0.915004	0.084996	481.2243	0.029524
3	0.875255	0.124745	327.8854	0.029000
4	0.837232	0.162768	251.2915	0.028539
5	0.800862	0.199138	205.3956	0.028135
6	0.766071	0.233929	174.8485	0.027779
7	0.732792	0.267208	153.0720	0.027466
8	0.700958	0.299042	136.7772	0.027191
9	0.670508	0.329492	124.1367	0.026950
10	0.641380	0.358620	114.0540	0.026740
11	0.613517	0.386483	105.8316	0.026557

Mengacu pada perhitungan di tabel 7, interval penggantian pencegahan yang meminimalkan *downtime* pada komponen *Contactor* diperoleh dari nilai D(tp) terendah, yaitu pada hari ke-11 dengan *downtime* sebesar 0.026557. Dengan demikian, penggantian pencegahan untuk komponen *Contactor* dilakukan pada hari ke-11.

Tabel 8. Interval Waktu Pergantian Pencegahan Komponen *Photoelectric Sensor*.

tp	R(tp)	F(tp)	M(tp)	D(tp)
1	0.953990	0.046010	888.9806	0.030123
2	0.910097	0.089903	454.9566	0.029530
3	0.868223	0.131777	310.3889	0.029013
4	0.828276	0.171724	238.1851	0.028562
5	0.790167	0.209833	194.9269	0.028167
6	0.753811	0.246189	166.1412	0.027822
7	0.719128	0.280872	145.6256	0.027521
8	0.686041	0.313959	130.2785	0.027259
9	0.654476	0.345524	118.3771	0.027031
10	0.624364	0.375636	108.8875	0.026834
11	0.595637	0.404363	101.1519	0.026664

Mengacu pada perhitungan di tabel 8, interval penggantian pencegahan yang meminimalkan *downtime* pada komponen *Photoelectric Sensor* diperoleh dari nilai D(tp) terendah, yaitu pada hari ke-11 dengan *downtime* sebesar 0.026664. Dengan demikian, penggantian pencegahan untuk komponen *Photoelectric Sensor* dilakukan pada hari ke-11.

Tabel 9. Interval Waktu Pergantian Pencegahan Komponen *Motor Hoist*.

tp	R(tp)	F(tp)	M(tp)	D(tp)
1	0.850896	0.149104	274.3196	0.030195
2	0.724024	0.275976	148.2091	0.029782
3	0.616070	0.383930	106.5352	0.029512
4	0.524211	0.475789	85.9669	0.029346
5	0.446049	0.553951	73.8371	0.029258
6	0.379542	0.620458	65.9224	0.029227
7	0.322951	0.677049	60.4123	0.029238
8	0.274797	0.725203	56.4009	0.029279
9	0.233824	0.766176	53.3847	0.029341
10	0.198960	0.801040	51.0612	0.029417
11	0.169294	0.830706	49.2378	0.029502

Mengacu pada perhitungan di tabel 9, interval penggantian pencegahan yang meminimalkan *downtime* pada komponen *Motor Hoist* diperoleh dari nilai D(tp) terendah, yaitu pada hari ke-11 dengan *downtime* sebesar 0.029502. Dengan demikian, penggantian pencegahan untuk komponen *Photoelectric Sensor* dilakukan pada hari ke-11.

F. Perhitungan Reliability Sebelum dan Sesudah

Perhitungan reliabilitas sebelum dan sesudah pelaksanaan *preventive maintenance* dapat dilihat pada tabel 10, 11 dan 12, dengan $R(t)$ menunjukkan reliabilitas sebelum *preventive maintenance* dan $R(t-nT)$ menunjukkan reliabilitas setelah *preventive maintenance*. Hasil perhitungan reliabilitas untuk komponen *Contactor*, *Photoelectric Sensor*, dan *Motor Hoist*, baik sebelum maupun sesudah penggantian pencegahan masing-masing komponen, dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 10. Reliability Komponen Contacor

t	R(t)	n	T	t-nT	R(t-nT)	R(t-nT) - R(t)
1	0.956558	0	0	1	0.956558	0%
2	0.915004	0	0	2	0.915004	0%
3	0.875255	0	0	3	0.875255	0%
4	0.837232	0	0	4	0.837232	0%
5	0.800862	0	0	5	0.800862	0%
6	0.766071	0	0	6	0.766071	0%
7	0.732792	0	0	7	0.732792	0%
8	0.700958	0	0	8	0.700958	0%
9	0.670508	0	0	9	0.670508	0%
10	0.641380	0	0	10	0.641380	0%
11	0.613517	1	11	0	1.000000	39%
12	0.586880	1	11	1	0.956561	37%
13	0.561386	1	11	2	0.915008	35%
14	0.537000	1	11	3	0.875261	34%
15	0.513673	1	11	4	0.837240	32%
16	0.491359	1	11	5	0.800870	31%
17	0.470015	1	11	6	0.766081	30%
18	0.449598	1	11	7	0.732803	28%
19	0.430067	1	11	8	0.700970	27%
20	0.411385	1	11	9	0.670520	26%
21	0.393515	1	11	10	0.641393	25%
22	0.376421	2	11	0	1.000000	62%

Berdasarkan tabel 10, nilai keandalan komponen pada *Contactor* sebelum dilakukan penggantian pencegahan dengan metode *age replacement* adalah sebesar 61,35%. Namun, setelah penerapan penggantian pencegahan, nilai keandalan komponen pada alat berat *overhead crane* meningkat hingga mencapai 100%, yang merupakan peningkatan sebesar 39% dari nilai awal.

Tabel 11. Reliability Komponen Photoelectric Sensor

t	R(t)	n	T	t-nT	R(t-nT)	R(t-nT) - R(t)
1	0.953990	0	0	1	0.953990	0%
2	0.910097	0	0	2	0.910097	0%
3	0.868223	0	0	3	0.868223	0%
4	0.828276	0	0	4	0.828276	0%
5	0.790167	0	0	5	0.790167	0%
6	0.753811	0	0	6	0.753811	0%
7	0.719128	0	0	7	0.719128	0%
8	0.686041	0	0	8	0.686041	0%
9	0.654476	0	0	9	0.654476	0%

10	0.624364	0	0	10	0.624364	0%
11	0.595637	1	11	0	1.000000	40%
12	0.568231	1	11	1	0.953990	39%
13	0.542087	1	11	2	0.910097	37%
14	0.517146	1	11	3	0.868223	35%
15	0.493352	1	11	4	0.828276	33%
16	0.470652	1	11	5	0.790167	32%
17	0.448998	1	11	6	0.753811	30%
18	0.428339	1	11	7	0.719128	29%
19	0.408631	1	11	8	0.686041	28%
20	0.389830	1	11	9	0.654476	26%
21	0.371894	1	11	10	0.624364	25%
22	0.354783	2	11	0	1.000000	65%

Berdasarkan tabel 11, nilai keandalan komponen pada *Photoelectric Sensor* sebelum dilakukan penggantian pencegahan dengan metode *age replacement* adalah sebesar 59,56%. Namun, setelah penerapan penggantian pencegahan, nilai keandalan komponen pada alat berat *overhead crane* meningkat hingga mencapai 100%, yang merupakan peningkatan sebesar 40% dari nilai awal.

Tabel 12. Reliability Komponen Motor Hoist

t	R(t)	n	T	t-nT	R(t-nT)	R(t-nT) - R(t)
1	0.850896	0	0	1	0.850896	0%
2	0.724024	0	0	2	0.724024	0%
3	0.616070	0	0	3	0.616070	0%
4	0.524211	0	0	4	0.524211	0%
5	0.446049	0	0	5	0.446049	0%
6	0.379542	0	0	6	0.379542	0%
7	0.322951	0	0	7	0.322951	0%
8	0.274797	0	0	8	0.274797	0%
9	0.233824	0	0	9	0.233824	0%
10	0.198960	0	0	10	0.198960	0%
11	0.169294	1	11	0	1.000000	83%
12	0.144052	1	11	1	0.850896	71%
13	0.122573	1	11	2	0.724024	60%
14	0.104297	1	11	3	0.616070	51%
15	0.088746	1	11	4	0.524211	44%
16	0.075514	1	11	5	0.446049	37%
17	0.064254	1	11	6	0.379542	32%
18	0.054674	1	11	7	0.322951	27%
19	0.046522	1	11	8	0.274797	23%
20	0.039585	1	11	9	0.233824	19%
21	0.033683	1	11	10	0.198960	17%
22	0.028661	2	11	0	1.000000	97%

Berdasarkan tabel 12, nilai keandalan komponen pada *Motor Hoist* sebelum dilakukan penggantian pencegahan dengan metode *age replacement* adalah sebesar 16,92%. Namun, setelah penerapan penggantian pencegahan, nilai keandalan komponen pada alat berat *overhead crane* meningkat hingga mencapai 100%, yang merupakan peningkatan sebesar 83% dari nilai awal.

G. Perhitungan Availability

Tahap terakhir adalah menghitung nilai *availability*. nilai *availability* total didapatkan dari perkalian *availability* penggantian pencegahan dan *availability* pemeriksaan. Berdasarkan hasil perhitungan interval waktu dapat diketahui tingkat ketersediaan (*availibilty*) dari komponen kritis tiap komponen. Hasil perhitungan nilai *availability* total dapat dilihat pada tabel 14.

Tabel 13. Perhitungan *Availability* Total

Komponen	<i>Availibilty</i> apabila dilakukan penggantian pencegahan	<i>availibilty</i> apabila dilakukan pemeriksaan	<i>availability</i> total
Contactora	0.376421	0.9765625	0.367598633
Photoelectric Sensor	0.354783	0.9765625	0.346467773
Motor hoist	0.028661	0.7729659	0.022153976

Availability total mencerminkan tingkat ketersediaan akhir suatu sistem atau perangkat setelah dilakukan perbaikan atau *treatment*, dengan mempertimbangkan baik kondisi awal maupun efektivitas tindakan perbaikan yang diterapkan. Nilai ini menunjukkan sejauh mana perbaikan mampu meningkatkan kinerja sistem, namun tetap dipengaruhi oleh faktor lain seperti operasional, pemeliharaan, serta kondisi lingkungan yang mungkin belum sepenuhnya diperhitungkan dalam *treatment* tersebut. Dengan demikian, *availability* total memberikan gambaran yang lebih realistis mengenai keandalan sistem secara keseluruhan setelah mengalami proses perbaikan.

H. Analisa Data

Nilai *availability* total yang dihitung dari perkalian antara *availability* dalam kondisi eksisting dan kondisi *treatment* menggambarkan sejauh mana tingkat ketersediaan suatu sistem atau perangkat setelah adanya perbaikan atau penanganan dibandingkan dengan kondisi awal. Dari tabel 13 diatas *Availability* eksisting = 0.3764, yang berarti dalam kondisi eksisting, sistem atau perangkat tersebut tersedia atau berfungsi sebesar 37.64% dari waktu yang seharusnya. *Availability treatment* = 0.9756, yang menunjukkan bahwa setelah dilakukan perbaikan atau *treatment*, tingkat ketersediaan sistem meningkat menjadi 97.56% dari waktu yang seharusnya. Ketika nilai *availability* total dihitung dengan mengalikan keduanya. *Availability Total* = $0.3764 \times 0.9756 = 0.3672$, atau 36.72%. Makna dari *availability* total nilai ini mengindikasikan bahwa, meskipun dilakukan perbaikan (*treatment*), ada faktor lain yang mempengaruhi sistem, sehingga secara keseluruhan, ketersediaan sistem masih 36.72%. Dengan kata lain, *availability* total menggambarkan hasil akhir yang lebih realistis, yang mempertimbangkan kedua kondisi (eksisting dan *treatment*). Hal ini bisa terjadi karena ada aspek-aspek lain selain *treatment* yang mempengaruhi ketersediaan sistem secara keseluruhan, seperti faktor operasional, pemeliharaan, atau kondisi lingkungan lainnya yang belum diperhitungkan dalam *treatment* tersebut.

VII. SIMPULAN

Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini terdapat tiga komponen kritis pada alat berat *Overhead crane* yang diidentifikasi melalui analisis diagram Pareto, yaitu *Contactora*, *Photoelectric Sensor*, dan *Motor Hoist*. Perhitungan interval pemeliharaan menunjukkan bahwa nilai MTTR (*Mean Time to Repair*) masing-masing komponen adalah 3.65667 jam untuk *Contactora*, 4.15333 jam untuk *Photoelectric Sensor*, dan 1.1546 jam hari untuk *Motor Hoist*.

Hasil analisis dengan metode RCM II mengungkapkan bahwa berbagai jenis kerusakan pada setiap komponen memerlukan tindakan perawatan dan penggantian. Untuk *Contactora*, kerusakan seperti kumparan terbakar, kegagalan mengalirkan atau memutuskan listrik, kabel longgar, kontak yang macet, serta kontak yang aus memerlukan inspeksi, pemulihan, atau penggantian agar alat tetap berfungsi dengan baik. Pada *Motor Hoist*, masalah seperti getaran kasar pada *bearing*, ketidakstabilan poros penggerak, getaran pada roda gigi, serta kumparan yang terbakar membutuhkan perawatan dan penggantian untuk menjaga performa. Sementara itu, kerusakan pada *Photoelectric Sensor*, seperti sensor yang kotor, pembacaan data tidak akurat akibat akumulasi cairan atau minyak, modul penerima yang rusak, gangguan sinyal karena koneksi kabel yang tidak stabil, serta pergeseran posisi sensor, perlu diatasi dengan perbaikan atau penggantian untuk memastikan kinerjanya optimal.

Sebagai rekomendasi, penerapan metode RCM dan *age replacement* dalam perawatan preventif menunjukkan peningkatan signifikan pada nilai *reliability* (keandalan) komponen. *Reliability* komponen *Contactora* meningkat sebesar 39%, dari 61,35% menjadi 100%. Untuk *Photoelectric Sensor*, *reliability* naik sebesar 40%, dari 59,56% menjadi 100%. Sementara itu, *Motor Hoist* menunjukkan peningkatan *reliability* sebesar 83%, dari 16,92% menjadi 100%. Dengan demikian, disarankan untuk menerapkan metode ini pada tiap komponen kritis dengan interval penggantian setiap 11 hari.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur kepada Allah SWT karena rahmat dan hidayah-Nya sehingga peneliti dapat menyelesaikan artikel penelitian ini dengan baik. Pada kesempatan ini peneliti ingin menyampaikan ucapan terimakasih kepada:

1. Iswanto, ST., M.MT., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Muhammadiyah Sidoarjo
2. Indah Apriliana Sari W., ST., MT., selaku Ketua Program Studi Teknik Industri Universitas Muhammadiyah Sidoarjo
3. Indah Apriliana Sari W., ST., MT., selaku Dosen Pembimbing pada Penelitian Artikel Skripsi yang telah memberikan arahan serta bimbingannya dalam menyelesaikan tugas artikel skripsi.
4. Pimpinan dan Staf PT.XYZ yang telah memberikan izin dan bimbingannya dalam melakukan penelitian Tugas Akhir

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat untuk pembaca dan menjadi masukan serta motivasi untuk lembaga pendidikan serta penelitian selanjutnya.

REFERENSI

- [1] M. Fahrurroji et al., "Usulan Perencanaan Perawatan Dengan Menggunakan Metode *Reliability Centred Maintenance* (RCM) di PT. Djabesmen," J. Ind. Xplore, vol. 6, no. 2, pp. 75–84, 2021.
- [2] A. A. Muzakki, "Analisis Preventive Maintenance Mesin Am Korin Dengan *Age replacement* Di Pt Nugraha Indah Citarasa Indonesia," J. Muara Sains, Teknol. Kedokt. dan Ilmu Kesehat., vol. 5, no. 2, p. 325, 2021, doi: 10.24912/jmstkik.v5i2.9078.
- [3] I. Ramadhan and W. Widiasih, "Analisis Penggantian dan Perawatan pada Papermachine Bagian Wire dan Dryer Menggunakan Metode *Reliability Centered Maintenance* dan *Age replacement* Pada PT. X," J. Tekst. J. Keilmuan dan Apl. Bid. Tekst. dan Manaj. Ind., vol. 6, no. 1, pp. 1–14, 2023, doi: 10.59432/jute.v6i1.60.
- [4] I. L. Kusminah, A. N. Rachmat, and D. A. Nurjanah, "Optimizing Small Excavator Maintenance Activity Planning Using the *Reliability-Centered Maintenance* (RCM) Method II," Int. J. Mar. Eng. Innov. Res., vol. 9, no. 1, pp. 208–217, 2024, doi: 10.12962/j25481479.v9i1.19844.
- [5] J. T. Juwandono and J. Purnama, "Analisa Pemeliharaan Mesin Produksi dengan Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) dan *Age replacement*," J. Tek. Ind. Terintegrasi, vol. 6, no. 3, pp. 483–492, 2023, doi: 10.31004/jutin.v6i3.15768.
- [6] A. Muhazir, Z. Sinaga, and R. D. Septiadi, "Perencanaan Perawatan Mesin Building Dengan Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM)," J. Optim., vol. 10, no. 1, p. 120, 2024, doi: 10.35308/jopt.v10i01.9263.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] A. B. Sulistyono and S. H. Mutiawati, "Usulan Jadwal Preventive Maintenance Komponen Ban pada Truk Tronton 20.000 KL Menggunakan Metode *Age replacement*," J. INTECH Tek. Ind. Univ. Serang Raya, vol. 7, no. 2, pp. 137–146, 2021, doi: 10.30656/intech.v7i2.3891.
- [10] A. B. Sulistyono and S. Muhlis, "Optimasi Perawatan Mesin *Overhead crane* Pada PT. KNSS Dengan Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) dan Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)," J. InTent (Jurnal Ind. dan Teknol. Terpadu), vol. 5, no. 2, pp. 27–35, 2022, [Online]. Available: <https://www.ejournal.lppm-unbaja.ac.id/index.php/intent/article/view/2447>
- [11] Kevin Gilbert Wohon, Arini Anestesia Purba, and Budiani Fitria Endrawati, "Penjadwalan Perawatan Sparepart Mesin dengan Pendekatan *Reliability Centered Maintenance* dan Failure Mode Effect Analysis di PT ABC," J. Tek. Ind., vol. 13, no. 3, pp. 183–188, 2023, doi: 10.25105/jti.v13i3.19139.
- [12] E. A. AGUSTIAWAN, M. Z. FATHONI, and D. WIDYANINGRUM, "Usulan Preventive Maintenance Pada Mesin Hanger Shot Blast Kazo Dengan Menggunakan Metode *Age replacement* Di Pt Barata Indonesia," Matrik, vol. 22, no. 1, p. 73, 2021, doi: 10.30587/matrik.v22i1.2715.
- [13] A. B. Zamani, M. Nuruddin, and S. S. Dahda, "Penentuan Interval Penggantian Komponen Mesin Pengayakan Batu Bara Menggunakan Metode *Age replacement*," J. Serambi Eng., vol. VIII, no. 1, pp. 4341–4352, 2023.
- [14] K. Nisak, E. Nursanti, and T. Priyasmanu, "Analisis Tingkat Keandalan Dan Penentuan Interval Waktu Pemeliharaan Mesin Pompa Air Di Perumda Air Minum Tugu Tirta Kota Malang," J. Valtech, vol. 5, no. 2, pp. 217–223, 2022, [Online]. Available: <https://ejournal.itn.ac.id/index.php/valtech/article/view/5644>

- [15] S. Sunaryo, J. Japri, Y. Yuhelson, and L. Hakim, "Implementasi RCM pada mesin diesel Deutz 20 kVA," *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 10, no. 1, pp. 42–52, 2021, doi: 10.24127/trb.v10i1.1451.
- [16] A. Sastriawan, "Penjadwalan Pemeliharaan Mesin Produksi Menggunakan *Reliability* Centered Maintenance," *J. Teknol.*, vol. 14, no. 1, pp. 26–35, 2024, doi: 10.35134/jitekin.v14i1.113.
- [17] D. Nurdiansyah and A. H. D. P, "Analysis of Maintenance Management at PT . XYZ Power Plant (With MTTR , MTTF , and Availability Factors) and Development of Performance Improvement Program," vol. 3, no. 9, pp. 3363–3376, 2024.
- [18] An Introduction To *Reliability* And Maintenance Engineering. New York: Times Roma, 1997.
- [19] D. Wibisono, "Analisis Overall Equipment Effectiveness (OEE) Dalam Meminimalisasi Six Big Losses Pada Mesin Bubut (Studi Kasus di Pabrik Parts PT XYZ)," *J. Optimasi Tek. Ind.*, vol. 3, no. 1, pp. 7–13, 2021, doi: 10.30998/joti.v3i1.6130.

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.