

Analisis Perawatan Mesin Generator Dan Turbin Dengan Metode *Reliability Centered Maintenance* (Rcm) Pada Unit Lgs#3 PLTA Laron di PT. Vale Indonesia Tbk.

Mudjib Abdullah^{1*}, Anis Saleh², Muhammad Dahlan³
^{1,2,3}Program Studi Teknik Industri, Universitas Muslim Indonesia, Indonesia
Email: abd.qhocaq@gmail.com, anis.saleh@umi.ac.id, Muhhammad.dahlan@umi.ac.id

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat Artikel:

Diterima: 02 Oktober 2024

Diperbaiki: 05 November 2024

Disetujui: 30 Desember 2024

ABSTRAK

PT Vale Indonesia Tbk adalah perusahaan tambang dan pengolahan nikel terintegrasi yang beroperasi di Luwu Timur, Sulawesi Selatan. Sebagai salah satu produsen nikel terkemuka, PT Vale mendukung keberlanjutan melalui penambangan dan pengolahan nikel menjadi nikel matte. Proses produksinya didukung oleh tiga PLTA utama, yakni PLTA Laron, Balambano, dan Karebbe, dengan total tujuh generator untuk pasokan listrik. Pemeliharaan mesin memiliki peran krusial dalam menjaga kelancaran produksi serta mengurangi risiko kerugian akibat kegagalan mesin. PT Vale menerapkan sistem perawatan terjadwal maupun tidak terjadwal melalui Departemen Maintenance Energy & Logistic, yang berfokus pada optimalisasi performa mesin. Data tahun 2023 menunjukkan adanya kegagalan pada Unit LGS#3 Laron, namun komponen kritis penyebab kegagalan tersebut belum diidentifikasi. Pendekatan *Reliability Centered Maintenance* (RCM) digunakan dalam penelitian ini untuk menentukan strategi perawatan yang optimal, meningkatkan keandalan mesin, dan meminimalkan risiko kerusakan. Melalui metode RCM didapatkan komponen kritis dari mesin turbin dan generator yang mengakibatkan *failure* adalah mesin Sensor Vibration TGB dengan presentase 31% dari total presentase downtime pada mesin lainnya yang ada pada Turbin. Sedangkan, pada Generator ialah mesin Carbon Brush dengan presentase 66,96% dari total presentase *downtime* pada mesin lainnya.

Kata Kunci: *Reliability Centered Maintenance* (RCM), Strategi Perawatan, Pemeliharaan Mesin, Optimalisasi Peralatan.

Ini adalah artikel akses terbuka di bawah Lisensi Internasional CC BY 4.0© JRSIM (2024)



PENDAHULUAN

PT Vale Indonesia Tbk atau PT Vale merupakan perusahaan tambang dan pengolahan nikel terintegrasi yang beroperasi di Blok Sorowako, Kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi Selatan. Selama setengah abad beroperasi di Indonesia, PT Vale Indonesia Tbk tumbuh menjadi salah satu perusahaan tambang mineral terkemuka, dengan komitmen jangka panjang untuk berkontribusi positif terhadap pembangunan Indonesia yang berkelanjutan. Nikel merupakan jenis logam tahan karat yang banyak digunakan untuk berbagai jenis industri. Dalam kehidupan modern nikel menjadi jenis logam yang penting bagi kelangsungan hidup manusia[1].

Dalam menjaga aktifitas produksi, PT Vale Indonesia melakukan dengan beberapa cara, salah satunya dengan melakukan tindakan perawatan. Menurut Corder (1992), perawatan adalah suatu kombinasi dari sebagai tindakan yang dilakukan untuk menjaga suatu barang atau memperbaikinya sampai suatu kondisi yang bisa diterima. Selain itu, perawatan juga digunakan untuk melakukan perbaikan atau pergantian pada mesin sehingga mesin dapat terpelihara dengan baik (Assauri, 1999) [3].

Dalam proses produksinya PT Vale Indonesia selalu melakukan aktifitas maintenance secara terjadwal ataupun tidak terjadwal dengan tujuan untuk memaksimalkan performa mesin / peralatan agar dapat beroperasi dengan optimal. Departemen di PT Vale Indonesia yang bertugas melakukan maintenance di area *Hydro* (PLTA) adalah Departemen *Maintenance Energy & Logistic*. Pada hakikatnya pemeliharaan sangat dibutuhkan untuk mengatasi berbagai masalah yang sering terjadi terutama pada Mesin / peralatan yang beroperasi secara terus - menerus. Dengan adanya strategi pemeliharaan yang baik maka akan meningkatkan keandalan dari peralatan atau mesin yang dimiliki oleh perusahaan.

Berdasarkan data pada awal tahun 2023 sampai akhir tahun 2023 terdapat beberapa jenis failure / kegagalan yang terjadi pada Unit LGS#3 Larona yang menyebabkan *Breakdown*. Dari data jumlah failure yang ada, belum diketahui komponen apa saja yang kritis sering terjadi *failure* sehingga perlu dilakukan analisis lebih lanjut. Salah satu pendekatan yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu dengan menggunakan metodologi *Reliability Centered Maintenance* (RCM), digunakannya metode RCM ini dengan tujuan agar dapat memberikan kerangka sistematis untuk menentukan operasi perawatan terjadwal dan mengidentifikasi tugas atau pekerjaan yang sesuai untuk dilakukan pada setiap komponen mesin.

METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini metode yang digunakan adalah metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) merupakan suatu proses yang digunakan untuk menentukan apa yang harus dilakukan untuk menjamin agar suatu asset fisik dapat berlangsung terus memenuhi fungsi yang diharapkan dalam konteks operasinya saat ini atau suatu pendekatan pemeliharaan yang mengkombinasikan praktek dan strategi dari *preventive maintenance* (PM) dan *corective maintenance* (CM) untuk memaksimalkan umur (*life time*) dan fungsi asset / sistem / *equipment* dengan biaya minimal (*minimum cost*) [4].

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Identifikasi Kompone Kritis

A. Mesin Turbin

Data jumlah frekuensi Breakdown kerusakan pada LGS#3 yang diambil dari data *historical* di SAP dari Januari 2023 hingga desember 2023. Untuk menghitung jumlah downtime setiap mesin yaitu dengan menggunakan rumus (waktu selesai kerusakan – waktu mulai kerusakan)×24. Sehingga dapat diketahui waktu downtime dengan satuan waktu "jam" seperti tabel di bawah ini:

Tabel 1 Rekapitulasi *Downtime Turbin*

No	Component	Frequency Failure	Total Downtime (H)	% Downtime
1	Sensor Vibration TGB	3	216	31%

<i>No</i>	<i>Component</i>	<i>Frequency Failure</i>	<i>Total Downtime (H)</i>	<i>% Downtime</i>
2	Gate Operating Ring	2	120	17%
3	Proportional Valve	2	144	21%
4	Sensor Oil Level	2	48	7%
5	Sensor RPM	1	24	3%
6	Shaft Seal	1	48	7%
7	Valve Cooling Water	1	24	33%
8	Servomotor	1	72	10%
Total		13	696	100%

B. Mesin Generator

Tabel 2 Rekapitulasi *Downtime* Generator

<i>No</i>	<i>Component</i>	<i>Frequency Failure</i>	<i>Total Downtime (H)</i>	<i>% Downtime</i>
1	Carbon Brush	5	384	38%
2	Brake	4	96	10%
3	Heater Generator	4	96	10%
4	Sensor Vibration UGB	3	72	7%
5	Sensor Air Cooler	2	48	5%
6	Slipring	2	72	7%
7	Synchronizer	2	48	5%
8	Winding Stator	2	48	5%
9	Lower Guide Bearing	1	24	2%
10	Oil Lifter	1	48	5%
11	Oil Vapor	1	48	5%
12	PT Fuse	1	24	2%
Total		28	1008	100%

2. *Failure Mode and Effect Analysis Method* (FMEA)

A. FMEA Turbin

Berdasarkan 18 risiko terdaftar serta diketahui nilai RPN dari masing – masing risiko komponen dari mesin turbin, langkah yang selanjutnya yaitu melakukan penentuan nilai risiko kritis. Dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Nilai kritis RPN} = \frac{\text{Total RPN}}{\text{Jumlah Risiko}} = \frac{2.898}{18} = 161$$

Maka, diperoleh lima (5) risiko kritis yang nilainya berada diatas nilai kritis RPN yaitu sebesar 161 sesuai dengan hasil perhitungan dari persamaan pada tabel berikut:

Tabel 3 Rekapitulasi Jumlah Hasil RPN FMEA Turbin

No	Komponen	RPN
1	Sensor temperature oil upper bearing,combine bearing dang turbing bearing	288
2	Sensor vibrasi,RPM upper bearing, combine bearing dan turbine bear	288
3	Generator combine Bearing (CGB)	288
4	Turbine Bearing	216
5	Head Cover & Bottom Ring	216

B. FMEA Generator

Tabel 4 Rekapitulasi Jumlah Hasil RPN FMEA Generator

No	Komponen	RPN
1	Rotor	240
2	Stator	240
3	Slip Ring	192
4	Heater	180
5	Breake Air System	180

3. *Logic Tree Analysis* (LTA)A. *Logic Tree Analysis* Turbin

Pada metode LTA dilakukan perangkingan pada komponen-komponen yang memiliki nilai RPN tertinggi untuk diketahui nilai *Evident safety* dan *outagenya* yang selanjutnya akan dibagi menjadi empat kategori A, B, C, dan D. Dimana dalam kategori tersebut ditentukan dengan menjawab tiga pertanyaan sebagai berikut:

1. Evident, apakah operator dalam keadaan normal mampu menyadari terjadinya kerusakan? YA / NO
2. Safety, yaitu kegagalan tersebut dapat membahayakan keselamatan? YA / NO
3. Outage, yaitu apakah kegagalan ini dapat menyebabkan seluruh atau sebagian sistem berhenti? YA / NO

Tabel 5 *Logic Tree Analysis* (LTA) Turbin

Komponen	Fungsi	Mode Kegagalan	Critically Analysis			
			Evident	Safety	Outage	Category
Sensor temperature oil Upper bearing, Combine bearing dan Turbine bearing	Untuk mendeteksi oli temperature	Sensor gagal	Y	Y	Y	A
		Sensor di luar kalibrasi	Y	Y	Y	A
Sensor Vibrasi, RPM upper bearing, combine bearing dan turbine bearing	Untuk mendeteksi vibrasi dan kecepatan RPM Shaft Turbin	Sensor gagal	Y	Y	Y	A
		Sensor di luar kalibrasi	Y	Y	Y	A
Generator combine bearing (GCB)	Untuk dapat menjaga poros rotor berputar	Bantalan pemakaian normal	Y	N	N	C

Komponen	Fungsi	Mode	Evident	Critically Analysis		Category
		Kegagalan		Safety	Outage	
Turbine bearing	di tengah (untuk mendukung gaya radial poros) dan Untuk mendukung menahan gaya aksial poros rotor	Blok pendingin oli	Y	Y	Y	A
		Kebocoran segel oli	Y	Y	Y	A
		Minyak tingkat rendah	Y	Y	Y	A
	Untuk dapat menjaga poros turbin tetap berputar di tengah	Bantalan pemakaian normal	Y	Y	N	C
		Blok pendingin oli	Y	Y	Y	A
		Kebocoran segel oli	Y	Y	Y	A
		Minyak tingkat rendah	Y	Y	Y	A
Head cover & Bottom Ring	Untuk support wicket gage	Penutup kepala & Cincin Bawah rusak	Y	Y	Y	A

Maka pada perhitungan kategori LTA pada turbin dengan 5 komponen yang memiliki RPN tertinggi dan 13 kegagalan dapat disimpulkan ada dua (2) yang termasuk dalam kategori C (*Low risk / Less Critical*) dan ada 11 dalam kategori A (*High Risk / Critical*).

4. Pengolahan Data Kuantitatif

A. Penentuan Mesin Kritis

Tabel 6 Jumlah Total Frekuensi *Downtime* Turbin

No	Mesin	Frekuensi	Downtime (menit)	% Downtime	Downtime Kumulatif
1.	Sensor Vibration TGB	3	216	31%	31%
2.	Gate Operation Ring	2	120	17%	48%
3.	Proportional Valve	2	144	22%	70%
4.	Sensor Oil Level	2	48	7%	77%
5.	Sensor RPM	1	24	3%	80%
6.	Shaft Seal	1	48	7%	87%
7.	Valve Cooling Water	1	24	3%	90%
8.	Servomotor	1	72	10%	100%
Total		13	696		

Berdasarkan tabel diatas didapatkan bahwa mesin yang memiliki downtime terbesar adalah mesin Sensor Vibration TGB dengan presentase 31% dari total presentase downtime pada mesin lainnya yang ada pada Turbin.

B. Identifikasi Data dengan Distribusi

Data total waktu downtime periode 1 januari 2023 sampai dengan 30 desember 2023:

Tabel 7 Data Waktu Kerusakan Mesin Sensor Vibration TGB

Mesin	No. Urut	Waktu Kerusakan		Downtime (menit)
		Mulai	Selesai	
Sensor Vibration TGB	1	29/05/2023	05/06/2023	168
	2	22/12/2023	23/12/2023	24
	3	30/12/2023	31/12/2023	24

Tabel 8 Distribusi Lognormal Mesin Sensor Vibration TGB

No.	Ti	Xi=ti	Xi2	F(ti)	Yi	Yi2	XiYi
1	1440	7,272	52,882	0,219	-0,769	0,59136	-5,5922
2	10080	9,218	84,9715	0,708	0,525	0,27563	4,83945
Total	11520	16,490	137,854	0,927	-0,244	0,867	-0,753

Tabel 9 Index of Fit to Failure Mesin Sensor Vibration TGB

Distribusi	Index of Fit	% Index of Fit
<i>Log Normal</i>	1,674	83,70%

Berdasarkan tabel diatas, distribusi Log Normal memiliki nilai indeks kecocokan (*Index of Fit*) tertinggi, yaitu sebesar 83,70%.

C. Penentuan Distribusi Data Waktu Perbaikan pada Mesin Sensor Vibration TGB

Tabel 10 Data Waktu Perbaikan Mesin Sensor Vibration TGB

No. Urut	Waktu Perbaikan		TI (menit)	TI (urut)
	Mulai	Selesai		
1	29/05/2023	05/06/2023	3360	480
2	22/12/2023	23/12/2023	480	480
3	30/12/2023	31/12/2023	480	3360

Tabel 11 Distribusi Lognormal Mesin Sensor Vibration TGB

No.	Ti	Xi=ti	Xi2	F(ti)	Yi	Yi2	XiYi
1	480	6,17	38,069	0,205	-0,823	0,67733	-5,0779
2	480	6,17	38,069	0,501	0,003	9E-06	0,018
3	3360	8,119	65,918	0,794	0,811	0,65772	6,58451
Total	4320	20,459	142,056	1,500	-0,009	1,335	1,525

Tabel 12 Index of Fit to Repair Mesin Sensor Vibration TGB

Distribusi	Index of Fit	% Index of Fit
<i>Log Normal</i>	3,456	86,40%

Berdasarkan tabel diatas, distribusi Log Normal memiliki nilai indeks kecocokan (*Index of Fit*) tertinggi, yaitu sebesar 86,50%.

D. Uji Goodness of Fit

Tabel 13 Uji *Goodness of Fit Time to Failure* Mesin Sensor Vibration TGB

No.	ti	ln ti	(ln ti - xbar) ²	zti	fti	d1	d2
1	1440	7,272	0,94673	-1,732	-1,732	0,1423	0,2296
2	10080	9,218	0,94673	0,641	0,641	0,0367	0,2995
Total	11520	16,490	1,89346	Dn Max		0,1790	0,5291

Dari tabel diatas didapat disimpulkan bahwa untuk mendapatkan nilai Dhitung, perlu memilih nilai yang paling besar antara D1 dan D2. Hasilnya adalah 0,05291 Untuk melakukan validasi data, penting untuk menyusun hipotesis yang akan diuji menggunakan Uji Kolmogorov-Smirnov Test, sebagai berikut:

H0 = Distribusi data *Time Failure* adalah Lognormal

H1 = Distribusi data *Time Failure* tidak Lognormal

a = 0,05

dtabel = 0,842 (Nilai Dtabel dapat dilihat pada tabel Kolmogorov-Smirnov dengan nilai 2;0,05)

DN < Dtabel maka H0 diterima

Dari hasil perhitungan diatas didapatkan nilai D1 dan D2, dalam hal ini nilai terbesar ada pada D2 dengan nilai 0,5291. Sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai DN lebih kecil daripada nilai Dtabel (0,5291 < 0,842) yang berarti hipotesis H0 diterima.

Tabel 14 Uji *Goodness of Fit Time to Repair* Mesin Sensor Vibration TGB

No.	ti	ln ti	(ln ti - xbar) ²	zti	fti	d1	d2
1	480	6,17	0,422	-1,621	-1,621	0,0562	0,0438
2	480	6,17	0,422	-1,514	-1,514	0,0618	0,2995
3	3360	8,119	1,688	-1,407	-1,407	0,0808	0,2734
Total	4320	20,459	0,844	Dn Max		0,1988	0,6167

Dari hasil perhitungan di atas didapatkan nilai D1 dan D2, dalam hal ini nilai terbesar ada pada D2 dengan nilai 0,617. Sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai DN lebih kecil daripada nilai Dtabel (0,617 < 0,708) yang berarti hipotesis H0 diterima.

E. Estimasi Parameter

Berikut ini merupakan parameter yang digunakan untuk data waktu antar kerusakan dan data waktu perbaikan sebagai berikut:

- Parameter Distribusi Data Waktu antar Kerusakan (*Time to Failure*) Mesin Sensor Vibration TGB

$$\mu = \text{Xbar } \ln(t_i) = 8,245$$

$$T_{\text{med}} = 3808,535$$

$$S(\sigma) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\ln(t_i) - \mu)^2}{n}} = 0,973$$

- Parameter Distribusi Data Waktu antar Perbaikan (*Time to Repair*) Mesin Sensor Vibration TGB

$$\mu = \text{Xbar } \ln(t_i) = 6,844$$

$$T_{\text{med}} = 915,985$$

$$S(\sigma) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\ln(ti) - \mu)^2}{n}} = 0,530$$

F. Perhitungan MTTF dan MTTR

- a. Parameter Distribusi Data Waktu antar Kerusakan (*Time to Failure*) Mesin Sensor Vibration TGB

$$\begin{aligned} \text{MTTF} &= \text{tmed. } e^{\frac{s^2}{2}} \\ &= 3808,535 \times \exp \frac{(0,973)^2}{2} \\ &= 6114,170 \end{aligned}$$

- b. Parameter Distribusi Data Waktu antar Perbaikan (*Time to Repair*) Mesin Sensor Vibration TGB

$$\begin{aligned} \text{MTTF} &= \text{tmed. } e^{\frac{s^2}{2}} \\ &= 915,985 \times \exp \frac{(0,530)^2}{2} \\ &= 1054,108 \end{aligned}$$

G. Interval Waktu Perawatan Optimal

Berikut ini adalah perhitungan Interval waktu pemeriksaan untuk mengetahui interval waktu pemeriksaan yang optimal pada Mesin Sensor Vibration TGB dan Mesin *Carbon Brush*:

$$\mu = \text{Xbar } \ln(ti) = 8,245$$

$$\sigma = s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^r (8,245)^2}{2}} = 0,583$$

k = Reability factor (R) = 95% = 0,2190 (didapatkan dari tabel distribusi normal (*Z-score*) untuk *reability* 95%)

$$T_M = \exp(\mu + k\sigma)$$

$$T_M = \exp(8,245 + (0,2190 \times 0,583))$$

$$T_M = \exp(8,372)$$

$$T_M = 4324,2 \approx 4.324 \text{ menit}$$

Jadi, interval perawatan optimal untuk Mesin Sensor Vibration TGB adalah setiap 4.324 menit.

5. *Realibility*

Perhitungan *Realibility* dilakukan untuk mengetahui bagaimana dampak perawatan terhadap kehandalan mesin dengan menggunakan distribusi lognormal. Berikut ini merupakan perhitungan perbandingan *Realibility* sebelum dan setelah dilakukan perawatan:

- *Reability* Sebelum Perawatan Mesin Sensor Vibration TGB

$$\mu_{Sebelum} = 8,245$$

$$\sigma_{Sebelum} = 0,973$$

$$MTTF_{Sebelum} = 6.114$$

t = 1000 menit (asumsi waktu keandalan yang ingin diketahui)

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

$$R(1000) = 1 - \Phi\left(\frac{\ln(1000) - 8,245}{0,973}\right)$$

$$R(1000) = 1 - 0,374$$

$$R(1000) = 0,6260$$

- *Reability* Setelah Perawatan Mesin Sensor Vibration TGB

$$\mu_{Setelah} = 6,844$$

$$\sigma_{Setelah} = 0,530$$

$$MTTF_{Setelah} = 1.054$$

t = 1000 menit (asumsi waktu keandalan yang ingin diketahui)

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

$$R(1000) = 1 - \Phi\left(\frac{\ln(1000) - 0,6844}{0,530}\right)$$

$$R(1000) = 1 - 0,1174$$

$$R(1000) = 0,8826$$

Keandalan mesin pada waktu t=1000 menit meningkat dari sekitar 62.60% menjadi sekitar 88.26% setelah perawatan.

- *Reability* Sebelum Perawatan Mesin Carbon Brush

$$\mu_{Sebelum} = 8,545$$

$$\sigma_{Sebelum} = 0,199$$

$$MTTF_{Sebelum} = 8.142$$

t = 1000 menit (asumsi waktu keandalan yang ingin diketahui)

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

$$R(1000) = 1 - \Phi\left(\frac{\ln(1000) - 8,545}{0,199}\right)$$

$$R(1000) = 1 - 0,823$$

$$R(1000) = 0,177$$

- *Reability* Setelah Perawatan Mesin Carbo brush

$$\mu_{Setelah} = 7,188$$

$$\sigma_{Setelah} = 1,815$$

$$MTTF_{Setelah} = 6.871$$

t = 1000 menit (asumsi waktu keandalan yang ingin diketahui)

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

$$R(1000) = 1 - \Phi\left(\frac{\ln(1000) - 0,7188}{1,815}\right)$$

$$R(1000) = 1 - 0,341$$

$$R(1000) = 0,659$$

Keandalan mesin pada waktu t=1000 menit meningkat dari sekitar 17.70% menjadi sekitar 65.90% setelah perawatan.

KESIMPULAN

Melalui pengolahan data pada metode RCM di dapatkan komponen kritis dari mesin turbin dan generator yang mengakibatkan failure ialah, mesin Sensor Vibration TGB dengan presentase 31% dari total presentase downtime pada mesin lainnya yang ada pada Turbin. Sedangkan, pada Generator ialah mesin Carbon Brush dengan presentase 66,96% dari total presentase downtime pada mesin lainnya.

Untuk interval perawatan optimal untuk Mesin Sensor Vibration TGB adalah setiap 4.324 menit, sedangkan interval perawatan optimal untuk Mesin Carbon Brush adalah setiap 5.508 menit.

Melalui analisis Logic Tree Analysis (LTA) pada Turbin dan Generator didapatkan untuk mesin turbin ialah 5 komponen yang memiliki RPN tertinggi dan 13 kegagalan dapat disimpulkan ada dua (2) yang termasuk dalam kategori C (Low risk / Less Critical) dan ada 11 dalam kategori A (High Risk / Critical) sedangkan pada Generator dengan 5 komponen yang memiliki RPN tertinggi dan 19 kegagalan dapat disimpulkan ada Lima (5) yang termasuk dalam kategori B (Moderate Risk / Important) dan ada 14 dalam kategori A (High Risk / Critical).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian dapat dilaksanakan dengan baik berkat adanya bantuan serta dukungan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada kedua dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan saran dalam proses penulisan jurnal ini. Kepada Fakultas Teknologi Industri Universitas Muslim Indonesia, Program Studi Teknik Industri, atas bantuan dan kerja sama yang baik dalam penelitian ini.

REFERENSI

- [1] Adhan Putro Aditia. (2024). Analisis Perawatan Mesin Pada Komponen Mobile Crane Kobelco RK 450 Dengan Metode Reliability Centered Maintenance II (RCM II) Dan Age Replacement. Skripsi. Fakultas Teknologi Industri. Universitas Islam Indonesia : Yogyakarta.
- [2] Alsyouf, I., & Alsharif, M.H. (2021). "The Role of Reliability Centered Maintenance in Improving Equipment Performance in Oil and Gas Industry." *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 27(3), 421-436.
- [3] Dedy Andreas Sinurat. (2021). Analisis Perawatan Mesin Produksi Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance II (RCM II) Pada Mesin Penggiling Di CV Fawas Jaya. Skripsi. Fakultas Teknik. Program Studi Teknik Industri. Universitas Medan Area : Medan.
- [4] Dicky Dwi Armanda, Moh. Jufriyanto, Akhmad Wasiur Rizqi. (2023) Perencanaan Perawatan Mesin dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) Pada PT. XYZ. *G-Tech : Jurnal Teknologi Terapan*. Volume 7, No. 4. : 1588-1595.
- [5] Fajar Muharrami Firman. (2022). Usulan Perencanaan Perawatan Mesin Dengan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) Pada Sistem Mesin Boiler (Studi Kasus : PT San Dumai). Tugas Akhir. Fakultas Sains Dan Teknologi. Program Studi Teknik Industri. Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau : Pekanbaru.
- [6] Geisbush, J., & Ariaratnam, S.T. (2023). "Reliability centered maintenance (RCM): literature review of current industry state of practice." *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 29(2), 313-337. <https://doi.org/10.1108/JQME-02-2021-0018>.
- [7] Goh, T.N., & Lim, K.T. (2021). "Implementation of Reliability Centered Maintenance in the Manufacturing Sector: A Case Study." *International Journal of Production Research*, 59(12), 3650-3664.
- [8] Hery Hamdi Azwi, Arri Ismail Wicaksono, Hirawati Oemar. (2020). Manajemen Perawatan Menggunakan Metode RCM Pada Mesin Produksi Kertas. *Jurnal Optimasi Sistem Industri*. Vol. 19 No. 1 : 12 -21.
- [9] Ilham Khoirul Ulum. (2021). Usulan Perencanaan Perawatan Mesin Dengan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) Pada Sistem Mesin Boiler. (Studi Kasus : PT San Dumai). Tugas Akhir. Fakultas Teknologi Industri. Universitas Islam Sultan Agung : Semarang.
- [10] Khessy Nor Hamdaniaty. (2024). Analisis Perawatan Mesin Dan Peralatan Di Area Crusher Dengan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) Dan Life Cycle Cost (LCC) Di Pt. XYZ. Skripsi. Fakultas Teknologi Industri. Universitas Islam Indonesia : Yogyakarta.

- [11] Moubray, J. (1997). Reliability Centered Maintenance. Oxford: Butterworth-Heineman
- [12] Moh. Reza Erlangga. (2023). Usulan Perencanaan Perawatan Mesin Dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) Dan Age Replacement Pada Mesin Raking Intake. Skripsi. Fakultas Teknologi Industri. Universitas Islam indonesia : Yogyakarta.
- [13] Randy Suwandy. (2019). Analisa Perawatan Mesin Digester Dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) Pada PTPN II Pagar Merbau. Skripsi. Fakultas Teknik. Program Studi Teknik Industri. Universitas Medan Area : Medan..
- [14] Supriyadi, A., & Santoso, H. (2021). "Pengaplikasian Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Tipe Turbin Screw di Desa Sendi, Pacet." Jurnal Ilmiah Teknologi dan Rekayasa, 1(2), 260 266.