



Perawatan Preventif Mesin Pompa Air

The Preventive Maintenance for Water Pump Machines

*Trisna Mesra¹⁾, Insannul Kamil²⁾, Rika Ampuh Hadiguna³⁾

¹⁾Program Studi Teknik Industri Sekolah Tinggi Teknologi Dumai

^{2,3)}Departemen Teknik Industri Universitas Andalas

Diterima: Juli 2023; Disetujui: Agustus 2023; Dipublikasi: November 2023

*Corresponding author: 2230932004_trisna@student.unand.ac.id

Abstrak

Kegiatan pemeliharaan terencana dapat membuat proses produksi berjalan lancar. Objek penelitian adalah mesin pompa 3 fasa. Berdasarkan pengamatan, pompa sering mengalami kerusakan pada komponen kritis. Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan perawatan preventif pada pompa. Keuntungan menggunakan perawatan preventif dapat menentukan jenis perawatan yang optimal dan interval waktu perawatan untuk setiap komponen kritis. Tahapan penelitian mencakup *probability density function* (pdf) dan kehandalan, membuat interval perawatan komponen kritis dengan menggunakan kriteria minimalisasi waktu henti yang akan digunakan untuk menjadwalkan pemeliharaan dan meningkatkan biaya perbaikan dan pencegahan untuk setiap komponen kritis. Hasil dari penerapan preventive maintenance, terdapat tiga komponen yang mengalami penurunan biaya perawatan yaitu komponen elektromotor mengalami penurunan biaya sebesar 23,7% dengan tingkat penanganan sebesar 52%, komponen bantalan radial mengalami penurunan biaya sebesar 24 % dengan tingkat perbaikan 66,64% dan komponen impeller mengalami penurunan biaya 19,5% dengan tingkat seruan 69%. Sedangkan interval waktu perawatan komponen elektromotor adalah 142,4 jam, komponen radial bearing 153,5 jam dan komponen impeller 168,8 jam.

Kata Kunci : mesin pompa, perawatan preventif, kehandalan, MTTF

Abstract

The Planned maintenance activities can make the production process run smoothly. The object of the research was pump machine with three phase. Based on observations, pumps often experience damage to critical components. This study aims to implement preventive maintenance on pump. The advantage of using preventive maintenance can determine the optimal type of maintenance and maintenance time intervals for each critical component. The research stages include determining the probability density function (pdf) and reliability, determining the maintenance interval for critical component using the downtime minimization criteria that will be used to schedule maintenance and determining the cost of corrective and preventive for each critical component. The result of the application of preventive maintenance, there were three component that experienced a decrease in maintenance costs, namely the electromotor component experiencing a 23,7% cost reduction with a 52% reliability level, the radial bearing component experiencing a cost reduction by 24% with a reliability level of 66,64% and the impeller component experiencing a decrease 19,5% cost with a 69% reliability rate. While the maintenance time interval for the electromotor component is 142,4 hours, the radial bearing component is 153,5 hours and the impeller component is 168,8 hours.

Keywords : pump engine, preventive maintenance, reliability, MTTF

How to Cite: Mesra, T., Kamil, I., dan Hadiguna, R.A., (2023), Perawatan Preventif Mesin Pompa Air. JIME (*Journal of Industrial and Manufacture Engineering*). 7 (2) : 236-246

PENDAHULUAN

Kegiatan pemeliharaan umumnya dianggap sebagai kegiatan pendukung dalam proses produksi. Namun kegiatan ini sangat penting karena secara langsung berkontribusi pada kelancaran proses produksi, oleh karena itu perawatan harus direncanakan dengan baik, agar kondisi mesin selalu baik dan menjamin kelancaran proses produksi di perusahaan. Setiap mesin terdiri dari beberapa komponen yang saling mendukung untuk proses produksi, apabila salah satu komponen mengalami kerusakan maka akan menyebabkan perusahaan mengalami kerugian. Sehingga dibutuhkan strategi sistem perawatan mesin untuk memaksimalkan penggunaan sumber daya. Berdasarkan survey yang dilakukan, jadwal preventive maintenance digunakan dua kali dalam setahun. Diantaranya adalah penggantian motor listrik, bantalan radial dan impeler. Namun pada kenyataannya jadwal tersebut tidak optimal sehingga perbaikan hanya dilakukan bila terjadi kerusakan akibat sistem perawatan yang tidak optimal dan tidak terjadwal. Beberapa penyebab kerusakan adalah kurangnya kontrol terhadap mesin, seperti jadwal pengecekan dan penggantian komponen yang tidak terstruktur. Beberapa komponen sering mengalami kerusakan yang mengakibatkan produktivitas mesin menurun dan menimbulkan biaya perawatan yang besar untuk perbaikan. Untuk meminimalisir kerusakan yang sering terjadi, maka diperlukan perawatan preventif. Preventive maintenance merupakan kegiatan perawatan yang dilakukan secara terjadwal dan umumnya dilakukan secara periodik (Alhilman & Abdillah, 2019).

Jenis perawatan yang optimal dapat ditentukan dengan menggunakan pendekatan metode Reability Centered Maintenance dan menggunakan analisis FMEA untuk menentukan penyebab kerusakan mesin (Alhilman & Abdillah, 2019). Sementara itu (Priyanta et al., 2019) melakukan studi penentuan perawatan peralatan putar di LNG dan menghasilkan interval waktu perawatan dan persentase persentase pemeliharaan preventif dan korektif untuk setiap komponen kritis pada peralatan putar. Penelitian perencanaan kegiatan perawatan untuk menilai risiko tidak berfungsinya sekrup kompresor dan menghasilkan nilai waktu perawatan yang optimal untuk menghindari kerusakan komponen kritis (Hidayat et al., 2010). Penentuan interval waktu perawatan pada mesin turbin di PT.PLN (Persesro) dilakukan dengan metode analisis kritis dan diperoleh interval waktu perawatan dan nilai keandalan yang sama sebelum dan sesudah dilakukannya pemeliharaan preventif (Taufik & Septyani, 2016). 2015 (Dadhich & Roy, 2010) menyatakan bahwa penerapan pemeliharaan preventif dapat meningkatkan keuntungan dengan meningkatkan keuntungan dengan meningkatkan nilai perbaikan dan inspeksi, tetapi mengurangi peningkatan biaya perbaikan dan inspeksi. Pengukuran kinerja tingkat keefektifan mesin secara keseluruhan dapat menggunakan metode Overall Equipment Effectiveness (OEE) (Alhilman & Abdillah, 2019). Kemudian (Azid et al., 2019) Dalam proses perancangan dan pembuatan suatu sistem, perlu dilakukan pemeliharaan yang berdampak pada kinerja dan keandalan sistem. Hal ini dapat dilakukan dengan melihat hubungan antara TPM dan RCM. Evaluasi kondisi mesin secara berkala dapat mengurangi kerugian akibat kegagalan mesin dengan menggunakan metode overall equipment effectiveness (OEE) (Dewi et al., 2020).

Lalu (Farid et al., 2020) Memperkirakan dan meminimalkan risiko yang timbul akibat kegagalan mesin dapat dilakukan dengan metode Risk-based maintenance (RBM). Model integrasi antara kebijakan pemeliharaan dan perencanaan produksi memiliki fungsi tujuan menjadi dua kriteria, yaitu biaya pemeliharaan yang berkaitan dengan biaya persediaan suku cadang (Hwang & Samat, 2019).

1. Penentuan Distribusi Time to Failure (TTF) dan Time to Repair (TTR)

Proses penentuan distribusi untuk menentukan pola data yang terbentuk pada komponen mesin yang rusak dengan cara menghitung least square curve fitting pada setiap distribusi untuk mendapatkan nilai terbesar. Setelah diperoleh nilai terbesar dari sebaran tertentu, langkah selanjutnya adalah melakukan uji kecocokan pada data TTF dan TTR yang diperoleh untuk memastikan apakah pola sebaran data yang diduga sesuai dengan pola sebaran tertentu. Setelah data pola kerusakan diketahui, maka dapat diukur parameter yang akan digunakan untuk mencari nilai MTTF dan MTTR. Yang akhirnya digunakan untuk mencari nilai reliabilitas.

Berikut adalah empat distribusi kerusakan yang umum digunakan :

1. Distribusi Weibull

Distribusi weibull merupakan jenis distribusi yang paling sering digunakan untuk waktu kerusakan, karena distribusi ini dapat digunakan untuk menentukan tingkat kerusakan yang bertambah atau berkurang. Dua parameter yang digunakan dalam distribusi ini adalah θ yang disebut parameter skala dan β yang disebut parameter bentuk. Fungsi keandalan dalam distribusi Weibull adalah :

$$\text{Fungsi realibilitas : } R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} \quad (1)$$

2. Distribusi eksponensial

Distribusi ini digunakan untuk menghitung keandalan distribusi kerusakan yang memiliki tingkat kerusakan konstan. Parameter yang digunakan dalam distribusi ini adalah λ , yang menunjukkan rata-rata kerusakan yang terjadi. Fungsi keandalan dalam Distribusi Eksponensial yaitu :

$$\text{Fungsi realibilitas : } R(t) = e^{-\lambda t} \quad (2)$$

3. Distribusi normal

Distribusi normal digunakan untuk memodelkan fenomena keausan . Parameter yang digunakan adalah μ (nilai tengah) dan σ (standar deviasi). Karena distribusi ini memiliki hubungan dengan distribusi lognormal, maka distribusi ini juga dapat digunakan untuk menganalisis probabilitas lognormal. Fungsi keandalan ini dalam distribusi normal yaitu :

$$\text{Fungsi realibilitas : } R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \quad (3)$$

4. Distribusi lognormal

Distribusi lognormal menggunakan dua parameter yaitu s yang merupakan parameter bentuk dan t_{med} sebagai parameter lokasi yang merupakan nilai tengah dari suatu distribusi kerusakan. Fungsi reliabilitas pada distribusi lognormal yaitu :

$$\text{Fungsi realibilitas : } R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}}\right) \quad (4)$$

2. Waktu Interval Perawatan

Dalam menentukan interval waktu perawatan, data kegagalan berikut harus sesuai dengan distribusi tertentu. Kemudian, semua fungsi yang berhubungan dengan distribusi digunakan untuk menentukan interval waktu perawatan. Fungsi kerapatan probabilitas, fungsi keandalan fungsi kerapatan kumulatif, dan tingkat bahaya atau kegagalan harus dihitung. Biaya per satuan waktu juga harus diperhitungkan (Kurniawan, 2013). Persamaan yang digunakan dalam menghitung biaya pemeliharaan:

$$C(t) = C_p + C_f \cdot H(t) \quad (5)$$

Di mana :

$C(t)$ = Biaya per satuan waktu

C_p = Harga komponen + waktu penggantian (jam) x gaji operator per jam) + (kapasitas produksi x waktu penggantian x kerugian produksi)

C_f = Harga komponen + downtime (jam) x gaji mekanik per jam +(kapasitas produksi x downtime x loss of production)

$H(t)$ = Fungsi hazard kumulatif dalam interval t

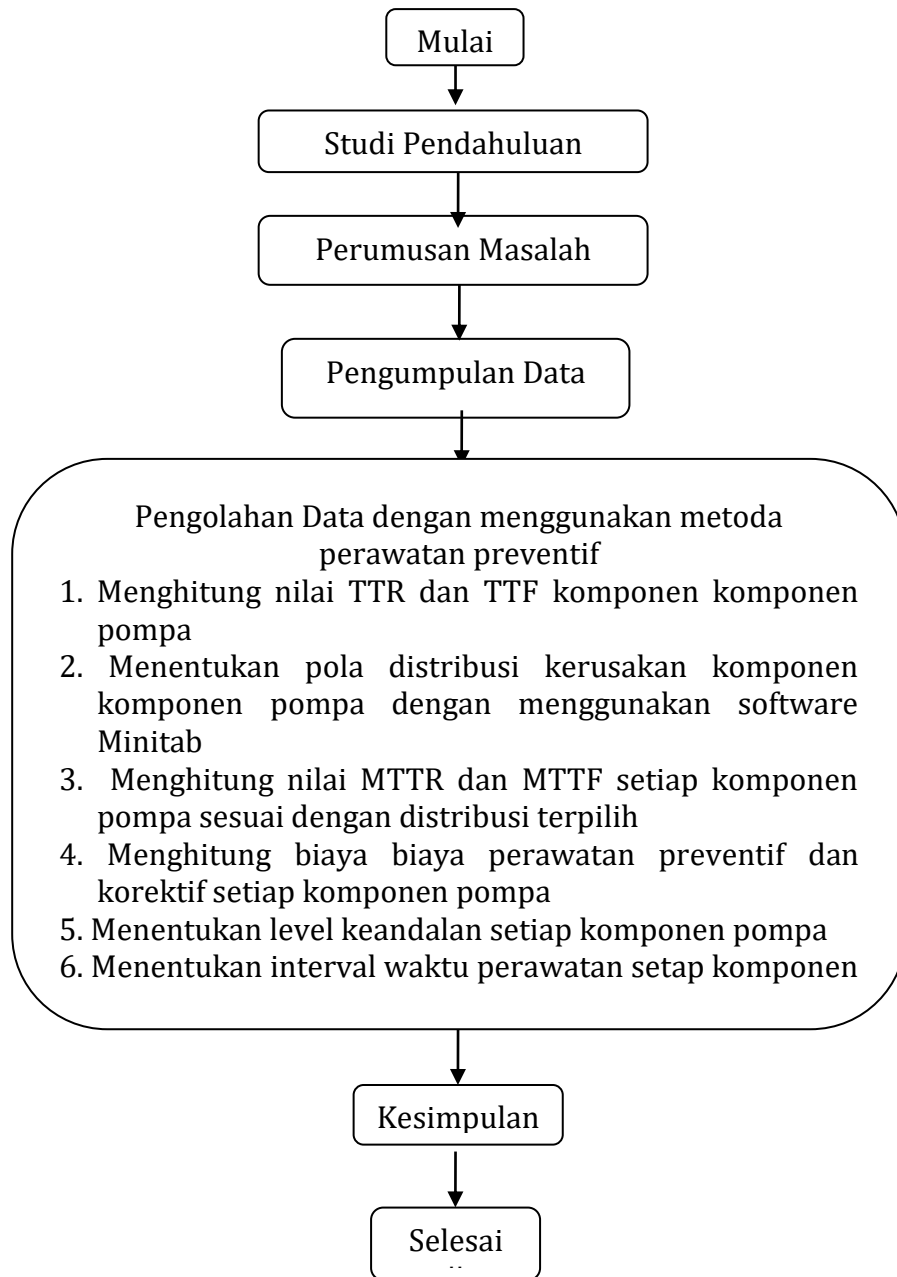
METODE PENELITIAN

Metodologi penelitian menjelaskan langkah-langkah dalam penelitian ini. Langkah-langkah tersebut akan dijelaskan mulai dari awal penelitian hingga penelitian selesai. Dimulai dari survei pendahuluan, merumuskan masalah, mengumpulkan dan mengolah data, dan penarikan kesimpulan.

Berikut adalah langkah-langkah yang dilakukan setelah pengumpulan data:

1. Survei pendahuluan dilakukan dengan konservasi lapangan atau tempat penelitian yaitu mesin pompa 3 fasa dan diskusi langsung dengan pihak terkait untuk mengetahui kondisi sistem dan identifikasi secara langsung.
2. Merumuskan masalah yaitu seringnya terjadi kerusakan pada komponen-komponen kritis mesin pompa
3. Kumpulkan data tentang waktu kegagalan dan waktu antara kerusakan mesin pompa tiga fasa.
4. Menentukan data pola kerusakan dengan melakukan pengujian distribusi menggunakan software Minitab
5. Menghitung MTTR dan MTTF dengan menggambarkan distribusi yang dipilih
6. Menghitung biaya pemeliharaan preventif dan korektif setiap komponen
7. Menghitung tingkat keandalan masing-masing komponen
8. Tentukan interval waktu perawatan untuk setiap komponen.
9. Menentukan kesimpulan

Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1. Berikut :



Gambar. 1 Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian diawali dengan pendataan kerusakan komponen mesin pompa. Data dan jenis kerusakan komponen dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Rekapitulasi data kerusakan pada komponen pompa

Komponen	<i>Kerusakan</i> Total (kali)	Persentase (%)	Penyebab
<i>Elektromotor</i>	6	33,4	Korslet

Komponen	Kerusakan Total (kali)	Persentase (%)	Penyebab
<i>Bantalan Radial</i>	5	27,8	Korslet
<i>Impeller</i>	7	38,8	Masuk pas
Total	18	100	

Sumber : Penelitian, 2023

Setelah mendapatkan komponen kritis, langkah selanjutnya adalah mencari nilai time to repair (TTR) dan time to failure (TTF). Tabel 2 menunjukkan nilai TTR dan TTF untuk masing-masing komponen kritis pompa.

Tabel 2. Data kerusakan komponen periode Januari-Desember 2022

		Komponen								
		Elektromotor		R.Bearing			Impeler			
Bulan	Tgl	TTR (jam)	TTF (jam)	Tgl	TTR(jam)	TTF(jam)	Tgl	TTR(jam)	TTF (jam)	
Januari				10	22	2.954	14	29,75	2.034,25	
April							12	33	1.144	
Mei	3	34,5	1.429,5	0	15	41		1.129		
Juni							2	18	1.448	
Juli	5	27	572		5	35		1.596,5		
Agustus	2	19,25	1.588,75				5	26	1.030	
Septembe					14	29,75	1.530,25	20	38,25	1.041,75
Oktober	10	31	785							
November	15	18,25	1.253,75		20	25		7	32,25	1.023,75
Desember	30	23,75						23	29,5	
Total	6				5			7		

Sumber : Penelitian, 2023

Kemudian diperoleh angka TTR dan TTF seperti pada tabel 2, dilanjutkan dengan mencari pola distribusi yang sesuai untuk masing-masing komponen kritis. Distribusi yang digunakan adalah distribusi normal, eksponensial, lognormal dan weibull dengan menggunakan software Minitab. Hasil penentuan distribusi dapat dilihat pada tabel 3. Penentuan distribusi terpilih pada penelitian berdasarkan nilai Anderson Darling (AD) terkecil dan P-value terbesar, seperti pada tabel 3 berikut:

Tabel 3. Pola Distribusi Nilai TTR

No	Komponen	Distribusi	AD-Value	Nilai-P	Hasil
1	<i>Elektromotor</i>	Normal	0,201	0,782	Bagus
		<i>Eksponensial</i>	1.657	0,014	Tidak baik
		<i>Weibull</i>	0,238	>0,250	Tidak baik
		Lognormal	0,209	0,752	Tidak baik
2	<i>Bantalan Radial</i>	Normal	0,18	0,828	Tidak baik
		<i>Eksponensial</i>	1.403	0,531	Tidak baik

No	Komponen	Distribusi	AD-Value	Nilai-P	Hasil
3	Impeller	Weibull	0,222	>0,25	Tidak baik
		Lognormal	0,167	0,874	Bagus
		Normal	0,278	0,531	Bagus
		Eksponensial	2.117	0,005	Tidak baik
		Weibull	0,243	>0,250	Tidak baik
		Lognormal	0,428	0,216	Tidak baik

Sumber : Penelitian, 2023

Berdasarkan Tabel 3 distribusi yang dipilih adalah distribusi normal komponen Elektromotor, komponen bantalan Radial berdistribusi lognormal dan komponen Impeller berdistribusi normal. Penentuan kriteria distribusi terpilih untuk setiap komponen berdasarkan nilai AD terkecil dan nilai P-Value terbesar. Selanjutnya akan dihitung nilai Time to Failure (TTF) untuk mengetahui baik atau tidaknya distribusi yang digunakan pada perlakuan setiap komponen yang dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4 . Pola Distribusi Nilai TTF

No	Komponen	Distribusi	AD-Value	Nilai-P	Hasil
1	Elektromotor	Normal	0,259	0,531	Bagus
		Eksponensial	1.009	0,084	Tidak baik
		Weibull	0,339	0,250	Tidak baik
		Lognormal	0,312	0,388	Tidak baik
2	Bantalan Radial	Normal	0,433	0,135	Tidak baik
		Eksponensial	0,884	0,114	Tidak baik
		Weibull	0,441	0,240	Tidak baik
		Lognormal	0,318	0,321	Bagus
3	Impeller	Normal	0,717	0,029	Tidak baik
		Eksponensial	1.688	0,013	Tidak baik
		Weibull	0,722	0,045	Tidak baik
		Lognormal	0,618	0,056	Bagus

Sumber : Penelitian, 2023

Berdasarkan Tabel 4 distribusi dipilih untuk distribusi normal komponen Elektromotor, komponen bantalan Radial, distribusi lognormal dan komponen Impeller, distribusi lognormal. Penentuan kriteria distribusi terpilih untuk setiap komponen berdasarkan nilai AD terkecil dan nilai P-Value terbesar.

Dengan mengetahui distribusi terpilih maka parameter komponen kritis dapat dihitung sesuai dengan distribusi yang dipilih. Kemudian untuk menghitung parameter dapat dicari Mean Time To Repair (MTTR) yang digunakan atau parameter yang dibutuhkan seperti pada tabel 5.

Tabel 5. Hasil Perhitungan MTTR pada Komponen Kritis

Komponen	Distribusi	σ	M	T_{med}	S	Gamma	M TTR (jam)
<i>Elektromotor</i>	Normal	5.889	25.953	-	-	0,929	24,13
<i>Bantalan Radial</i>	Lognormal	-	-	27.388	-0,17731	-	27,82
<i>Impeller</i>	normal	5.866	29.535	-	-	0,988	29,26

Sumber : Penelitian, 2023

Selanjutnya mengetahui hasil perhitungan MTTF pada komponen kritis dari masing-masing komponen dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Hasil perhitungan MTTF pada Komponen Kritis Pompa

Komponen	Distribusi	σ	M	T_{med}	S	MTTF (jam)
<i>Elektromotor</i>	Normal	386.204	1125.800	-	-	1140,75
<i>Bantalan Radial</i>	Lognormal	-	-	1715,2541	-0,86439	2.492,16
<i>Impeller</i>	Lognormal	-	-	-0,3880	1243.748	1024,410

Sumber : Penelitian, 2023

Dari tabel 6. Dapat disimpulkan bahwa nilai MTTF komponen Electromotor adalah 1.140,75 jam, komponen bantalan Radial adalah 2.492,16 jam dan komponen Impeller adalah 1.024,41 jam. Setelah mendapatkan nilai MTTR dan MTTF masing-masing komponen pada perbaikan korektif dan preventif. Dapat dihitung biaya yang dikeluarkan untuk melakukan perawatan mesin bor.

Tabel 7. Data Waktu Perbaikan (Tf) dan Data Waktu Perawatan Preventif (Tp)

Komponen	Waktu Untuk Perbaikan (jam)	Waktu Untuk Pencegahan Pemeliharaan (jam)
<i>Elektromotor</i>	24,13	5,5
<i>Bantalan Radial</i>	27,82	4,2
<i>Impeller</i>	29,26	7,5

Sumber : Penelitian, 2023

Untuk menghitung biaya perbaikan komponen diperlukan beberapa data yang dapat mendukung untuk digunakan dalam perhitungan. Berikut adalah data pendukung yang digunakan yaitu :

1. Hasil produksi aktual dari mesin bor tersebut adalah 12 ton/jam air
2. Kehilangan produksi jika terjadi kerusakan komponen Rp1.000.000
3. Harga komponen Electromotor Rp 830.000/pcs
4. Harga komponen Radial Bearing adalah Rp750.000/pcs
5. Harga komponen Impeller adalah Rp.1.100.000/pcs
6. Biaya pemasangan upah saat pergantian komponen adalah Rp550.000
7. Gaji mekanik Rp3.390.000/bulan (UMK kota Dumai)

Diasumsikan mekanik bekerja 26 hari dalam sebulan yaitu 8 jam kerja/hari. Jadi gaji pemeliharaan untuk 1 jam kerja adalah Rp.16.298/jam. Rumus perhitungan biaya perawatan mesin bor adalah sebagai berikut:

$C_f = (\text{harga komponen} + \text{biaya pemasangan}) + (\text{gaji downtime per jam}) + (\text{kapasitas produksi downtime produksi hilang})$.

$C_p = \text{Harga komponen} + (\text{waktu penggantian} \times \text{upah per jam}) + (\text{kapasitas produksi} \times \text{waktu penggantian} \times \text{kehilangan produksi})$.

Biaya turun = $C_f - C_p$

Selanjutnya dilakukan perhitungan cost down pada perawatan mesin bor untuk masing-masing komponen dapat dilihat pada tabel 8.

Tabel 8. Biaya perawatan mesin bor

Komponen	(Cf) Korektif Pemeliharaan	(Cp) Pencegahan Pemeliharaan	Penurunan Biaya
<i>Elektromotor</i>	Rp.2.419.287,038	Rp.1.828.287,03	Rp. 591.000 _
<i>Bantalan Radial</i>	Rp.2.399.410,360	Rp.1.803.810,36	Rp. 595.600 _
<i>Impeller</i>	Rp.2.772.879,480	Rp.2.216.879,48	Rp. 556.000 _

Sumber : Penelitian, 2023

Dari tabel 8 dapat disimpulkan bahwa biaya perawatan lebih sedikit dengan menggunakan metode Preventive Maintenance sebagai strategi perawatan. Sehingga lebih efisien dibandingkan dengan menggunakan perbaikan Corrective Maintenance.

1. Perhitungan Keandalan Komponen Mesin Pompa.

Tabel 9. Rekapitulasi Keandalan Komponen Mesin Pompa

Keandalan mesin pompa (%)		
Elektromotor	Bantalan Radial	Impeller
48,405	66,64	30,85

Sumber : Penelitian, 2023

2. Penentuan Interval Perawatan

Tabel 10. Interval Waktu Perawatan Mesin Pompa

Mesin Pompa	Komponen	Jenis kerusakan	Interval perawatan (Jam)
GrundFos SP 5A-25 3 Phase	rusak		
	Motorik	Kerusakan	142,4
	Bantalan Radial	Bantalan usang	153,5
	Impeller	Kerusakan	168,88

Sumber: Penelitian, 2023

Pada Tabel 10 diketahui bahwa terdapat beberapa jenis kerusakan komponen pada mesin pompa GrundFos SP 5A-25 3 Phase. Komponen motor rusak, bearing kendor, aus, bearing radial rusak, Impeller rusak. Semua komponen ini rusak karena habisnya umur komponen. Setelah itu dilakukan perhitungan dengan beberapa tahapan sesuai metode RCM II, didapatkan interval waktu perawatan komponen motor adalah 142,4 jam, komponen Radial Bearing adalah 153,5 jam dan komponen Impeller adalah 168,88 jam.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan evaluasi yang telah dilakukan pada GrundFos SP 5A-25 3 Pahse Pump Engine, dapat disimpulkan bahwa hasil penerapan preventive maintenance terdapat tiga komponen yang mengalami penurunan biaya perawatan yaitu komponen motor listrik mengalami penurunan biaya 24,4% dengan tingkat keandalan 48,4%, komponen bantalan radial mengalami penurunan biaya 24,79% dengan tingkat keandalan 66,64% dan komponen impeller mengalami penurunan biaya 20,05% dengan tingkat keandalan 30,85 %. Sedangkan interval waktu perawatan komponen elektromotor adalah 142,4 jam, komponen radial bearing 153,5 jam dan impeller 168,8 jam.

DAFTAR PUSTAKA

- Alhilman, J., & Abdillah, A. F. (2019). Analysis of Double indian Ballbreaker Net Sorter Machine Based on Overall Equipment Effectiveness Method Cases in Tea Plantation Plants. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 528(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/528/1/012046>
- Azid, N. A. A., Shamsudin, S. N. A., Yusoff, M. S., & Samat, H. A. (2019). Conceptual Analysis and Survey of Total Productive Maintenance (TPM) and Reliability Centered Maintenance (RCM) Relationship. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 530(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/530/1/012050>
- Dadhich, V., & Roy, S. (2010). Availability-based optimization of Preventive Maintenance schedule: A parametric study. *Chemical Engineering Transactions*, 21(Cm), 949–954. <https://doi.org/10.3303/CET1021159>
- Dewi, S., Alhilman, J., & Atmaji, F. T. D. (2020). Evaluation of Effectiveness and Cost of Machine Losses using Overall Equipment Effectiveness (OEE) and Overall Equipment Cost Loss (OECL) Methods, a case study on Toshiba CNC Machine. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 847(1).

- <https://doi.org/10.1088/1757-899X/847/1/012020>
- Farid, D. A., Budiasih, E., & Alhilman, J. (2020). Proposed optimal maintenance intervals for milling machine using risk based maintenance and analytical hierarchy process at manufacturing plant. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1003(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1003/1/012041>
- Hidayat, R., Ansori, N., & Imron, A. (2010). Perencanaan Kegiatan Maintenance Dengan Metode Reability Centered Maintenance (Rcm) Ii. *MAKARA of Technology Series*, 14(1), 7–14. <https://doi.org/10.7454/mst.v14i1.443>
- Hwang, J. Q., & Samat, H. A. (2019). A Review on Joint Optimization of Maintenance with Production Planning and Spare Part Inventory Management. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 530(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/530/1/012048>
- Kurniawan, F. (2013). *Manajemen Perawatan Industri* (pertama). Graha Ilmu.
- Priyanta, D., Siswanto, N., & Sukandar, R. A. (2019). Determination of Maintenance Task on Rotary Equipment Using Reliability Centered Maintenance II Method. *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research*, 4(3). <https://doi.org/10.12962/j25481479.v4i3.5572>
- Sajaradj, Z., Huda, L. N., & Sinulingga, S. (2019). The Application of Reliability Centered Maintenance (RCM) Methods to Design Maintenance System in Manufacturing (Journal Review). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 505(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/505/1/012058>
- Taufik, T., & Septyani, S. (2016). Penentuan Interval Waktu Perawatan Komponen Kritis pada Mesin Turbin Di PT Pln (Persero) Sektor Pembangkit Ombilin. *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, 14(2), 238. <https://doi.org/10.25077/josi.v14.n2.p238-258.2015>