

Model *Age Replacement* untuk *Preventive Maintenance* Pompa *Finish Water Pump* : Studi Kasus di Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM)

Ayub Ansuary^{1*}, Budi Waluyo²

¹ Laboratorium Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Magelang, Indonesia

² Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Magelang, Indonesia

*email: ayub22@gmail.com

DOI: 10.31603/benr.v4i01.11196

Abstract

The smooth running of the water treatment process at PDAM is often hampered by disruptions to the finish water pump which plays an important role in the operation of the Water Treatment Plant (WTP). When these machine components are damaged, they often require significant repairs, resulting in detrimental impacts for the company. Time wasted due to breakdown of machine components results in quite large production losses. A preventive maintenance schedule is really needed to prevent damage in the future to find out the maintenance time intervals for Finish Water Pump (FWP) pump components so that downtime can be minimized based on selection with the minimum cost savings. Age Replacement is a preventive replacement based on the age of components by following a certain distribution pattern. Preventive replacement is reset by adjusting the time interval for the next preventive replacement in accordance with predetermined provisions, if a replacement occurs due to damage. The Age Replacement model functions to accurately predict replacement activities for finish water pump components which often experience damage by analyzing based on historical data on component damage and determining the optimal cost reduction for each component replacement time interval. The results of the research show that one of the optimal replacement intervals is 23 days for gland packing components with a replacement cost of Rp. 115,200,000. This succeeded in reducing previous maintenance costs which reached Rp. 158,175,000

Keywords: *Age Replacement; Preventive Maintenance; Breakdown.*

Abstrak

Kelancaran proses pengolahan air di PDAM seringkali terhambat oleh gangguan pada *finish water pump* yang berperan penting dalam operasional *Water Treatment Plant* (WTP). Pada saat mengalami kerusakan komponen mesin ini seringkali memerlukan perbaikan yang signifikan, mengakibatkan dampak yang merugikan bagi perusahaan. Waktu yang terbuang akibat *breakdown* komponen mesin mengakibatkan kerugian produksi yang cukup besar. Jadwal *preventive maintenance* sangat dibutuhkan untuk mencegah kerusakan dimasa yang akan datang untuk mengetahui interval waktu perawatan bagi komponen pompa *Finish Water Pump* (FWP) sehingga dapat meminimasi *downtime* berdasarkan pemilihan dengan penghematan biaya yang paling minimal. *Age*

Replacement merupakan penggantian pencegahan berdasarkan umur dari komponen dengan mengikuti pola distribusi tertentu. Penggantian pencegahan diatur ulang dengan menyesuaikan interval waktu penggantian pencegahan berikutnya sesuai dengan ketentuan yang telah ditetapkan, jika terjadi penggantian akibat kerusakan yang terjadi. Model *Age Replacement* berfungsi untuk memprediksikan secara akurat kegiatan penggantian komponen *finish water pump* yang seringkali mengalami kerusakan dengan menganalisa berdasarkan data historis kerusakan komponen tersebut serta mengetahui penekanan biaya optimal untuk setiap interval waktu penggantian komponen. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa salah satu selang waktu penggantian optimal yaitu selama 23 hari untuk komponen gland packing dengan biaya penggantian sebesar Rp. 115.200.000. Hal ini berhasil menekan biaya perawatan sebelumnya yang mencapai Rp. 158.175.000.

Kata Kunci: *Age Replacement; Preventive Maintenance; Breakdown*

1. Pendahuluan

Pemenuhan air bersih untuk kebutuhan hidup manusia saat ini yang tidak dapat ditunda. Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) merupakan salah satu unit usaha milik pemerintah daerah, yang bergerak dalam distribusi air bersih bagi masyarakat umum. PDAM terdapat di setiap provinsi, kabupaten dan kotamadya di seluruh Indonesia. Objek penelitian ini berupa *Pompa Finish Water Pump* (FWP) yang digunakan untuk memindahkan cairan dari suatu tempat ke tempat yang lain melalui suatu media perpipaan dengan cara menambahkan energi pada cairan yang dipindahkan dan berlangsung secara terus menerus (Widodo et al., 2022). PDAM menggunakan pompa FWP dengan jenis sentrifugal untuk mendistribusikan air bersih dari sumber mata air ke *resevoir*, yang selanjutnya distribusikan kepada masyarakat. Untuk menggerakkan pompa diperlukan kerja yang dihasilkan dari motor listrik dengan cara memindahkan energi melalui kopling untuk memutar poros pompa (Evan, 2020). Kerja yang dilakukan motor listrik ini selanjutnya diteruskan oleh pompa untuk memindahkan cairan. Semakin sering mesin pompa digunakan, maka akan menurunkan kinerja pompa, sehingga membutuhkan sebuah kegiatan perawatan pompa baik preventif maupun korektif. Kegiatan perawatan ini sangat dibutuhkan untuk menjamin kelancaran kinerja PDAM, karena jika salah satu elemen mesin mengalami *breakdown* atau kerusakan dapat menyebabkan terhentinya proses distribusi air bersih ke masyarakat dan menyebabkan kerugian berupa biaya serta waktu dalam memenuhi kelancaran produksi.

Produktifitas suatu perusahaan sangat ditentukan khususnya oleh kelancaran produksi. Kelancaran proses produksi mempunyai tiga unsur utama yaitu *input*, proses, *output* serta adanya suatu mekanisme umpan balik untuk mengendalikan sistem produksi itu agar mampu meningkatkan perbaikan terus-menerus/*continuous improvement* (Gaspersz, 1998). Unsur kelancaran produksi memiliki berbagai faktor diantaranya faktor peralatan atau mesin yang terus dipelihara. Kelancaran produksi jika sering mengalami gangguan akibat kerusakan mesin maka sangat besar dampaknya pada kualitas dan hasil *output* yang tidak maksimal sehingga menimbulkan banyak kerugian dan memperkecil tingkat produktifitas (Fansuri et al., 2017).

Untuk meningkatkan kelancaran produksi telah banyak dilakukan oleh beberapa penelitian, diantaranya yang dilakukan oleh (Zamani et al., 2023). Penelitian ini menganalisis tentang *history* kerusakan dan *downtime* pada peralatan industri. Tingginya frekuensi kerusakan pada beberapa

komponen mesin yang disebabkan oleh jadwal perawatan yang tidak terencana menyebabkan rendahnya kelancaran produksi. Namun penelitian yang dilakukan belum membahas tentang metode yang tepat untuk meningkatkan kelancaran produksi secara berkesinambungan. Penelitian lain mencoba mengenalkan metode *preventive maintenance* untuk meningkatkan kelancaran produksi. [Praharsi et al., \(2015\)](#) membuat perancangan penjadwalan *preventive maintenance* pada PT Artha Prima Sukses Makmur. Penelitian ini melakukan analisa terhadap masalah yang terkait dengan perawatan mesin dan dapat digunakan beberapa jenis metode distribusi kerusakan dan perbaikan untuk mendekati pola kerusakan dan perbaikan mesin yang terjadi. Penelitian selanjutnya dilakukan oleh [\(Fansuri et al., 2016\)](#). Kegiatan yang dilakukan dengan membuat sebuah penentuan interval waktu perawatan *preventive maintenance* dan biaya perawatan mesin *bandsaw* di sebuah industri manufaktur. Namun demikian, Kedua penelitian ini belum menerapkan metode *preventive maintenance* pada industri pengolahan air bersih.

Kehandalan dan laju kerusakan dalam industri diamati untuk meningkatkan kelancaran produksi. [Muhsin & Syarafi, \(2018\)](#) melakukan analisis kehandalan dan laju kerusakan pada mesin *continues frying* di PT XYZ. Penelitian ini mencoba menentukan nilai keandalan (*reliability*) dan laju kerusakan dari mesin *Checking Fixture* (CF) untuk menentukan waktu perawatan mesin. Hasil penelitian berupa penentuan kehandalan pada mesin CF 1, CF 3, dan CF 8. Selanjutnya Ramadhan & Sukmono, (2018) melakukan penelitian tentang penentuan interval waktu *preventive maintenance* pada *nail making machine* dengan menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) II. Analisis *Failure Modes and Effect Analyze* (FMEA) digunakan untuk mengidentifikasi bentuk kegagalan tertinggi pada setiap kerusakan mesin yang terjadi. Dari hasil perhitungan menggunakan FMEA dan RCM II diperoleh hasil interval perawatan pada komponen *side shaft (stang metal)*, *crank shaft* dan untuk komponen motor listrik. Penelitian selanjutnya dilakukan oleh yang dilakukan [Nisak et al., \(2022\)](#) yang membahas tentang analisis tingkat keandalan dan penentuan interval waktu pemeliharaan mesin pompa air di perumda air minum tugu tirta kota malang. Penelitian ini bertujuan untuk menjaga mesin pompa air tetap berfungsi dengan baik perlu diadakan perawatan dan pemeliharaan (*maintenance*) serta uji fungsi keandalan pada mesin pompa air agar sistem berjalan lebih teratur, rapi, bersih, dan fungsional. Namun demikian ketiga penelitian belum membahas kelancaran produksi berdasarkan metode kehandalan *maintenance* dalam industri.

Dalam meningkat kelancaran produksi penelitian selanjutnya dengan analisis prediksi. [Tamara, \(2014\)](#) melakukan penelitian tentang analisis prediksi waktu kegagalan transformator menggunakan distribusi *weibull* dan distribusi *eksponensial*. Tujuan dari penelitian ini ialah untuk membuat perancangan program aplikasi berbasis *microsoft excel* dengan menggunakan distribusi *weibull* dan distribusi *eksponensial* untuk memprediksikan waktu kegagalan transformator prediksi kegagalan pada transformator. Hasil dari program ini adalah kapan transformator akan mengalami waktu kegagalan. Apabila kedua distribusi ini dapat digunakan, program ini dapat menentukan distribusi yang paling akurat untuk digunakan, sehingga waktu kegagalan yang didapat akan lebih akurat. Penelitian selanjutnya dilakukan oleh [Taufik & Septyani, \(2016\)](#) yang melakukan penentuan interval waktu perawatan komponen kritis pada mesin turbin di PT PLN (Persero) sektor pembangkit ombilin. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan mesin dan komponen yang kritis, mengevaluasi tindakan

perawatan yang dilakukan terhadap komponen kritis, menentukan interval waktu perawatan komponen kritis mesin turbin yang optimal dengan tujuan minimasi *downtime*. Namun demikian, kedua penelitian belum fokus pada pengamatan *maintenance* pada peralatan industri.

Penelitian selanjutnya untuk meningkatkan kelancaran produksi dengan penerapan metode *age replacement* (Prawiro, 2017);(Purnama *et al.*, 2015);(Ekawati & Mustofa, 2016). Prawiro, (2017) melakukan penentuan interval waktu penggantian komponen kritis pada mesin *volpack* menggunakan metode *age replacement*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperoleh interval waktu penggantian komponen mesin *volpack* dan mengetahui penurunan *downtime* serta penghematan dari biaya yang dikeluarkan. Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan yang telah dilakukan waktu interval penggantian untuk komponen - komponen *seal heater* mencapai 30 hari. Interval penggantian untuk komponen *knife foil* adalah 26 hari. Sedangkan Purnama *et al.*, (2015) membuat penelitian dengan metode *age replacement* yang digunakan untuk menentukan interval waktu perawatan mesin pada armada bus. Hasil yang diperoleh dari pengolahan dan analisa data penjadwalan perawatan kendaraan yang harus dilakukan tercapai minimalisasi biaya yaitu setiap 9 hari dengan tingkat keandalan mesin sebesar 0.6179 (61,79%). Untuk peneliti Ekawati & Mustofa, (2016) mencoba mengamati tentang perawatan *preventive* pada mesin *drying* menggunakan metode *age replacement* di PT. Nobel Industries. Penelitian ini bertujuan untuk mencari hasil perhitungan interval penggantian pencegahan untuk komponen *air preassure switch*, komponen *diapram*, komponen *main shaft*. Hasilnya berupa perhitungan interval penggantian pencegahan untuk komponen *air preassure switch* yaitu pada titik 89 hari. Ketiga penelitian ini belum membahas perhitungan *preventive replacement cost* dan belum membahas bagaimana tingkat efisiensi sebelum dan sesudah melakukan *preventive maintenance* dengan metode *age replacement*.

Penelitian penerapan *age replacement* selanjutnya dikembangkan oleh Utama & Wibowo, (2018) dan Suryani *et al.*, (2023) yang ujicobakan pada industri pengolahan air. Utama & Wibowo, (2018) melakukan penelitian tentang analisis *preventive maintenance* terhadap *submersible pump* 100 DLC5 7,5 T dalam instalasi pengolahan air limbah. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini berupa improvisasi terhadap *submersible pump* dengan penambahan jaring besi sebagai *filter* pada dinding *intake* pompa untuk mendukung kondisi pompa tetap prima. Namun demikian, Pada penelitian ini memiliki kekurangan yaitu tidak menerapkan metode penggantian pencegahan. Selanjutnya Suryani *et al.*, (2023) membahas tentang analisis *preventive maintenance* komponen mesin *pulp* dengan metode *age replacement*. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan waktu penjadwalan perawatan komponen yang semula perawatan dilakukan hanya disaat terjadinya kerusakan pada komponen *Line Dilution Pulp*, sehingga mengganggu proses produksi dan mengakibatkan biaya pengeluaran yang besar. Dalam menentukan interval waktu perawatan metode yang digunakan untuk menentukan kebijakan penjadwalan perawatan yang optimal yaitu menggunakan metode *Age Replacement*/umur pergantian, setelah dilakukan perawatan dengan metode *age replacement* didapat waktu perawatan yang tepat yaitu setiap 22 hari sekali. Namun, Penelitian ini masih memiliki kekurangan dipenerapan penentuan distribusi kerusakan, dimana pada penentuan distribusi kerusakan itu sendiri memiliki empat jenis yaitu distribusi normal, log normal, eksponensial, dan weibul. Tetapi pada penelitian ini hanya menggunakan satu jenis penentuan distribusi kerusakan yaitu *weibul*.

Untuk menjamin kelancaran produksi perlu *preventive maintenance* yang digunakan pada penjadwalan yang optimal guna penggantian komponen kritis yang sering mengalami kerusakan sehingga biaya produksi dapat diminimalkan. Jadwal *preventive maintenance* dibutuhkan untuk mencegah kerusakan dengan mengetahui interval waktu perawatan yang optimal bagi peralatan untuk menghilangkan *downtime*. Model *age replacement* merupakan metode dari *preventive maintenance* yang dapat memprediksikan secara akurat kegiatan penggantian komponen suatu peralatan berdasarkan data *history* kerusakan peralatan tersebut serta dapat mengeliminasi *breakdown* dibandingkan metode *preventive maintenance* lainnya. Namun demikian, penelitian ini belum menerapkan *preventive maintenance* pada komponen-komponen pendukung. Selanjutnya model *age replacement* ini lebih banyak dipakai pada industri karena adanya parameter *life time* komponen yang tidak dimiliki metode *preventive maintenance* lainnya (Purnama *et al.*, 2015). Perawatan mesin biasanya dilakukan sesuai dengan *manual book* dari mesin tersebut. Namun demikian, tindakan *preventive* yang ditunjukkan oleh *manual book* tersebut tidaklah akurat karena faktor kondisi di lapangan yang kadang berbeda pada saat melakukan perawatan dan perbaikan mesin sehingga diperlukan penjadwalan yang akurat.

Berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya untuk meningkatkan kelancaran produksi metode *age replacement* sesuai untuk tindakan *preventive maintenance*, namun demikian metode ini belum diterapkan pada industri pengolahan air bersih terutama pada PDAM. Untuk itu penelitian ini mengusulkan bagaimana melakukan analisis *preventive maintenance* dengan model *age replacement* yang bertujuan untuk mengetahui tingkat efisiensi pada perawatan komponen pompa *finish water pump* yang ada di PDAM dan mengetahui total biaya perawatan yang paling rendah selama proses perawatan komponen tersebut.

2. Metode

Penelitian ini dilakukan dengan mengumpulkan data sekunder dari seluruh komponen yang mengalami kerusakan pada mesin yang akan dianalisis pada periode 2021-2022 lalu dilakukan pengolahan data menggunakan *microsoft excel*. Hasil dari pengolahan data pada *microsoft excel* berguna untuk mengetahui klasifikasi komponen, interval waktu penggantian komponen (*age replacement*) dan biaya alternatif (*cost of preventive alternative*). Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan *zero breakdown* untuk meningkatkan produktivitas perusahaan. Berikut langkah-langkah yang digunakan pada penelitian ini :

A. Pengumpulan data

Mengumpulkan data-data yang ada pada PDAM yang dibutuhkan sebagai pengolahan data. Adapun data yang diperlukan tersebut antara lain adalah sebagai berikut:

1. Data selang waktu antar kerusakan.
2. Data jenis, jumlah, harga, dan frekuensi kerusakan komponen pompa sentrifugal/finish water pump
3. Data waktu yang diperlukan untuk penggantian komponen pompa sentrifugal/ finish water pump.
4. Data output produksi, laba, produksi loss pada PDAM.
5. Data kebutuhan tenaga kerja dan biaya tenaga kerja.

B. Pengolahan data

Data yang sudah di kumpulkan selanjutnya akan di olah sesuai dengan kebutuhan dan metode/model yang akan digunakan

1. Penentuan komponen kritis

Pada tahap ini dilakukan penentuan komponen kritis dimana komponen tersebut yang sering mengalami kerusakan.

2. Penentuan distribusi kerusakan

Pada tahap penentuan distribusi kerusakan dapat dilihat dari data-data kerusakan komponen yang ada, selanjutnya dilakukan penentuan distribusi kerusakan untuk melakukan penentuan jadwal penggantian komponen kritis tersebut.

3. Perhitungan MTTF

Setelah beberapa tahap telah dilakukan, maka Perhitungan MTTF dilakukan untuk pengambilan data parameter yang diperlukan untuk perhitungan waktu pengantian komponen tersebut.

4. Perhitungan Biaya Kerusakan dan Biaya Pencegahan

Perhitungan biaya-biaya ini perlu dilakukan untuk kelengkapan parameter perhitungan model age replacement.

5. Penentuan Selang Waktu Penggantian Pencegahan

Setelah parameter didapatkan dari beberapa tahap. Maka penentuan selang waktu penggantian pencegahan dapat dilakukan dengan model age replacement.

6. Perhitungan Ongkos Saat Ini dan Usulan

Dari berbagai data yang didapatkan yaitu data biaya-biaya yang diperlukan. Maka dapat diperhitungkan total biaya sebelum dan sesudah tindakan preventive maintenance. Sehingga dapat terlihat perbedaan berapa biaya yang ditekan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengujian *Fingerprint*

A. Data komponen pompa *Finish Water Pump* (FWP)

Kumpulan daripada data-data teknis komponen yang berhubungan langsung dengan pengolahan. Dalam hal ini, data ini dibutuhkan untuk melakukan tahap pengolahan data.

1. Data Jenis, Jumlah (Unit), Harga dan Frekuensi Kerusakan Komponen

Data Jenis, Jumlah (Unit), Harga dan Frekuensi Kerusakan Komponen ditampilkan pada [Tabel 4.1](#).

Tabel 4.1 Jenis, jumlah (unit), harga dan frekuensi kerusakan komponen.

Komponen	Jumlah (Unit)	Harga (Rp)	Frekuensi
<i>Gland Packing</i>	12	600000	19
<i>Rubber Coupling</i>	2	1300000	16
<i>Bearing</i>	2	285000	20
<i>Felxible Coolant</i>	2	235000	23

Terusan Tabel 4.1

Komponen	Jumlah (Unit)	Harga (Rp)	Frekuensi
<i>Shaft</i>	2	250000	20
<i>Pump feet</i>	2	193000	23
<i>Casing</i>	10	15000	11
<i>Impeller</i>	2	40000	12
<i>Flexible joint</i>	4	20000	5
<i>Key Shaft</i>	2	17500	10
Total	40	2955500	159

2. Data Selang Waktu Antar Kerusakan

Jarak waktu antar kerusakan adalah selang waktu pompa beroperasi normal atau selesai di perbaiki sampai pompa mengalami kerusakan kembali yang datanya dilihat pada [Tabel 4.2](#).

[Tabel 4.2](#) Data selang waktu antar kerusakan komponen *gland packing*.

NO	Selang waktu antar kerusakan (hari) <i>gland packing</i>
1	62
2	55
3	47
4	28
5	64
6	40
7	43
8	53
9	22
10	33
11	24
12	22
13	17
14	14
15	23
16	105
17	38
18	30
19	<i>Currently</i>

Dari tabel diatas diperoleh hasil perhitungan interval waktu kerusakan yang dipengaruhi oleh waktu kerja produksi, perusahaan menjalankan proses produksi sepanjang hari tanpa henti, selama 24 jam setiap harinya.

3. Data Waktu yang Diperlukan untuk Perbaikan *Gland Packing*

Waktu yang diperlukan untuk perbaikan *gland packing* terlihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Data TTR komponen *gland packing*.

Komponen	Lama Perbaikan (Menit)
<i>Gland Packing</i>	60

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa waktu untuk perbaikan komponen gland packing tersebut ialah 60 menit.

4. Data Biaya yang Diperlukan

Biaya untuk kebutuhan produksi terlihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Data biaya.

Bahan Wawancara	Hasil
Output Produksi	2400 kubik/hari
Laba	Rp. 1125 (L/hari)
Harga Komponen <i>Gland Packing</i>	Rp.600.000

Tabel 4.4 dapat diperoleh data-data biaya yang diperlukan seperti output produksi, laba dan harga komponen yang akan diteliti.

B. Pengolahan Data

Setelah mengumpulkan data-data yang dibutuhkan untuk pengolahan telah cukup, maka tahap pengolahan selanjutnya bisa dilakukan, yaitu menentukan komponen kritis yang akan di analisa sebagai berikut.

1. Penentuan Komponen Kritis

Setelah mengumpulkan data di atas maka dilakukan analisa guna menentukan komponen kritis yaitu menggunakan metode ABC yang dilakukan pada pompa *finish water pump* seperti Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Data komponen pompa *finish water pump*.

Komponen	Jumlah (Unit)	Harga (Rp)	Frekuensi	Total Biaya (Rp)
<i>Gland Packing</i>	12	600000	19	136800000
<i>Rubber Coupling</i>	2	1300000	16	41600000
<i>Bearing</i>	2	285000	20	11400000
<i>Felxible Coolant</i>	2	235000	23	10810000
<i>Shaft</i>	2	250000	20	10000000
<i>Pump feet</i>	2	193000	23	8878000

Terusan Tabel 4.5.

Komponen	Jumlah (Unit)	Harga (Rp)	Frekuensi	Total Biaya (Rp)
<i>Casing</i>	10	15000	11	1650000
<i>Impeller</i>	2	40000	12	960000
<i>Flexible joint</i>	4	20000	5	400000
<i>Key Shaft</i>	2	17500	10	350000
Total	40	2955500	159	222848000

2. Klasifikasi Komponen

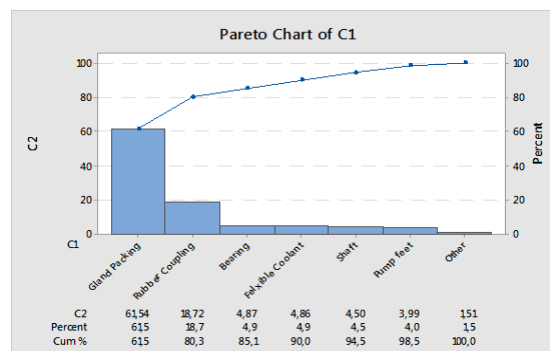
Dilihat dari [Tabel 4.6](#) bahwa komponen *gland packing* termasuk dalam kategori kelas A sehingga komponen *gland packing* menjadi prioritas penanganan yang utama, karena jika komponen ini rusak maka mesin tidak dapat dijalankan dan menyebabkan alarm *Emergency Stop* berbunyi sehingga menyebabkan terganggunya proses produksi.

Tabel 4.6. Klasifikasi komponen dengan analisis ABC pada pompa *Finish Water Pump* (FWP).

Komponen	Total Biaya (Rp)	Persentase nilai barang (%)	Kategori
<i>Gland Packing</i>	136800000	61.54455232	A
<i>Rubber Coupling</i>	41600000	18.71530246	B
<i>Bearing</i>	11400000	4.872277058	C
<i>Flexible Coolant</i>	10810000	4.863279317	C
<i>Shaft</i>	10000000	4.498870783	C
<i>Pump Feet</i>	8878000	3.994097482	C
<i>Casing</i>	1650000	0.742313679	C
<i>Impeller</i>	960000	0.431891595	C
<i>Flexible Joint</i>	400000	0.179954831	C
<i>Key Shaft</i>	350000	0.157460477	C
Total	222848000	100	

3. Diagram *Pareto* Breakdown Seluruh Komponen

Data breakdown pada komponen pompa FWP dapat terlihat pada [Gambar 4.1](#).



Gambar 4.1 Diagram *pareto* komponen pompa FWP.

Pemilihan komponen kritis menggunakan metode *ABC analysis* dan di tampilkan dengan diagram paretto menunjukkan kelas A jatuh kepada komponen *gland packing* dengan mewakili nilai sebesar 61.54% dari total penggunaan biaya.

C. Pemilihan Distribusi Kerusakan

Distribusi kerusakan dipilih dengan melakukan pengujian dengan distribusi normal, lognormal, eksponensial, dan weibull. Pengujian pada pola distribusi dilakukan dengan menggunakan data selang waktu antar kerusakan (TTF) tiap komponen. pemilihan pola distribusi dilakukan berdasarkan nilai indeks of fit yang terbesar secara manual dengan menggunakan software *microsoft excel*.

1. Pola Distribusi Normal

Perhitungan *index of fit* menggunakan distribusi normal dapat dilihat pada [Tabel 4.7](#).

Tabel 4.7 Perhitungan *index of fit* dengan distribusi normal pada komponen *gland packing*.

I	(Xi)=ti	F (ti)	Yi	Xi.Yi	Xi ²	Yi ²
1	14	0,0380	-1,77	-24,834	196	3,1466
2	17	0,0924	-1,33	-22,5449	289	1,7587
3	22	0,1467	-1,05	-23,1115	484	1,1036
4	22	0,2011	-0,84	-18,4304	484	0,7018
5	23	0,2554	-0,66	-15,1221	529	0,4323
6	24	0,3098	-0,50	-11,9152	576	0,2465
7	28	0,3641	-0,35	-9,72832	784	0,1207
8	30	0,4185	-0,21	-6,17364	900	0,0423
9	33	0,4728	-0,07	-2,24953	1089	0,0046
10	38	0,5272	0,07	2,590371	1444	0,0046
11	40	0,5815	0,21	8,23152	1600	0,0423
12	43	0,6359	0,35	14,93992	1849	0,1207
13	47	0,6902	0,50	23,33393	2209	0,2465
14	53	0,7446	0,66	34,84667	2809	0,4323
15	55	0,7989	0,84	46,07598	3025	0,7018
16	62	0,8533	1,05	65,13235	3844	1,1036
17	64	0,9076	1,33	84,87503	4096	1,7587
18	105	0,9620	1,77	186,2549	1105	3,1466
Total	720	9,0000	0,0	332,171	37232	15,11437239

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

$$= 0,9305$$

2. Pola Distribusi Lognormal

Perhitungan *index of fit* menggunakan distribusi lognormal dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Perhitungan *index of fit* dengan distribusi lognormal pada komponen *gland packing*.

I	Ti	(Xi)=in Ti	F (ti)	Yi	Xi.Yi	Xi ²	Yi ²
1	14	2,63905733	0,0380	-1,77	-4,68131	6,964624	3,1466
2	17	2,83321334	0,0924	-1,33	-3,75733	8,027098	1,7587
3	22	3,09104245	0,1467	-1,05	-3,24721	9,554543	1,1036
4	22	3,09104245	0,2011	-0,84	-2,58951	9,554543	0,7018
5	23	3,13549422	0,2554	-0,66	-2,06154	9,831324	0,4323
6	24	3,17805383	0,3098	-0,50	-1,5778	10,10003	0,2465
7	28	3,33220451	0,3641	-0,35	-1,15774	11,10359	0,1207
8	30	3,40119738	0,4185	-0,21	-0,69993	11,56814	0,0423
9	33	3,49650756	0,4728	-0,07	-0,23835	12,22557	0,0046
10	38	3,63758616	0,5272	0,07	0,247966	13,23203	0,0046
11	40	3,68887945	0,5815	0,21	0,759127	13,60783	0,0423
12	43	3,76120012	0,6359	0,35	1,306791	14,14663	0,1207
13	47	3,8501476	0,6902	0,50	1,91147	14,82364	0,2465
14	53	3,97029191	0,7446	0,66	2,610405	15,76322	0,4323
15	55	4,00733319	0,7989	0,84	3,357123	16,05872	0,7018
16	62	4,12713439	0,8533	1,05	4,335645	17,03324	1,1036
17	64	4,15888308	0,9076	1,33	5,515396	17,29631	1,7587
18	105	4,65396035	0,9620	1,77	8,255456	21,65935	3,1466
Total	720	64,0532	9,00	0	8,288677	232,5504	15,11437

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

$$= 0.9923$$

3. Pola Distribusi Eksponensial

Perhitungan *index of fit* menggunakan Distribusi Eksponensial dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.9 Perhitungan *index of fit* dengan distribusi eksponensial pada komponen *gland packing*.

I	(Xi)=ti	F (ti)	Yi=ln(1/1-F(ti))	Xi.Yi	Xi ²	Yi ²
1	14	0,0380	0,0388	0,543004	196	0,0015
2	17	0,0924	0,0969	1,648013	289	0,0094
3	22	0,1467	0,1587	3,491179	484	0,0252

Terusan Tabel 4.9.

I	(Xi)=ti	F (ti)	Yi=ln(1/1-F(ti))	Xi.Yi	Xi ²	Yi ²
4	22	0,2011	0,2245	4,93907	484	0,0504
5	23	0,2554	0,2950	6,783961	529	0,0870
6	24	0,3098	0,3707	8,897968	576	0,1375
7	28	0,3641	0,4528	12,67733	784	0,2050
8	30	0,4185	0,5421	16,26321	900	0,2939
9	33	0,4728	0,6402	21,12742	1089	0,4099
10	38	0,5272	0,7490	28,46305	1444	0,5610
11	40	0,5815	0,8711	34,84521	1600	0,7589
12	43	0,6359	1,0102	43,44045	1849	1,0206
13	47	0,6902	1,1719	55,07857	2209	1,3733
14	53	0,7446	1,3648	72,33377	2809	1,8626
15	55	0,7989	1,6040	88,22098	3025	2,5729
16	62	0,8533	1,9191	118,9841	3844	3,6829
17	64	0,9076	2,3817	152,4302	4096	5,6726
18	105	0,9620	3,2690	343,2477	11025	10,6865
Total	720	9,00	17,16065664	1013,415	37232	29,41111

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

$$= 0.9857$$

4. Pola Distribusi *Weibull*

Perhitungan *index of fit* menggunakan Distribusi *Weibull* dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Perhitungan *index of fit* dengan distribusi *weibull* pada komponen *gland packing*.

I	Ti	Xi=ln(ti)	F (ti)	Yi=ln ln(1/1-F(ti))	Xi.Yi	Xi ²	Yi ²
1	14	2,639057	0,0380	-3,2497	-8,57613	6,964624	10,5605
2	17	2,833213	0,0924	-2,3336	-6,61171	8,027098	5,4459
3	22	3,091042	0,1467	-1,8408	-5,69	9,554543	3,3886
4	22	3,091042	0,2011	-1,4939	-4,6176	9,554543	2,2316
5	23	3,135494	0,2554	-1,2209	-3,82823	9,831324	1,4907
6	24	3,178054	0,3098	-0,9922	-3,15336	10,10003	0,9845
7	28	3,332205	0,3641	-0,7924	-2,6404	11,10359	0,6279
8	30	3,401197	0,4185	-0,6123	-2,08253	11,56814	0,3749
9	33	3,496508	0,4728	-0,4459	-1,55922	12,22557	0,1989
10	38	3,637586	0,5272	-0,2890	-1,05119	13,23203	0,0835
11	40	3,688879	0,5815	-0,1380	-0,50893	13,60783	0,0190
12	43	3,7612	0,6359	0,0102	0,038331	14,14663	0,0001

Terusan Tabel 4.10.

I	Ti	Xi=in(ti)	F (ti)	Yi=ln ln(1/1-F(ti))	Xi.Yi	Xi ²	Yi ²
13	47	3,850148	0,6902	0,1586	0,610684	14,82364	0,0252
14	53	3,970292	0,7446	0,3110	1,234758	15,76322	0,0967
15	55	4,007333	0,7989	0,4725	1,893512	16,05872	0,2233
16	62	4,127134	0,8533	0,6519	2,690296	17,03324	0,4249
17	64	4,158883	0,9076	0,8678	3,609178	17,29631	0,7531
18	105	4,65396	0,9620	1,1845	5,512579	21,65935	1,4030
Total	720	64,05323	9,00	-9,752244056	-24,73	232,5504	28,33229

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

$$= 0.9669.$$

Hasil rekapitulasi dari pola distribusi waktu selang antar kerusakan komponen *Gland Packing* dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Rekapitulasi perhitungan manual distribusi selang waktu antar kerusakan pada komponen *gland packing*.

Distribusi	Index of Fit
Normal	0.9385
Lognormal	0.9923
Eksponensial	0.9857
Weibull	0.9669

Setelah dilakukan perhitungan secara manual menggunakan rumus formula di *Microsoft Excel*, dapat diketahui hasil dari *index of fit* yang terbesar adalah 0.9923 yang terdapat pada distribusi Lognormal. Maka dapat disimpulkan bahwa data selang waktu antar kerusakan komponen *Gland packing* adalah berdistribusi Lognormal.

D. Perhitungan *Cost of Failure* dan *Cost of Preventive*

1. Perhitungan *Cost of Failure*

Biaya ini terdiri dari biaya komponen dan biaya kehilangan produksi. Biaya komponen gland packing terdiri dari 12 unit. Jika komponen ini mengalami kerusakan maka mesin pompa tidak dapat dijalankan karena akan menyebabkan alarm emergency stop berbunyi sehingga menyebabkan terganggunya proses produksi. Perhitungannya sebagai berikut.

Harga/unit : Rp.600.000

Total biaya komponen gland packing : Rp.7.200.000

2. Biaya Kehilangan Produksi

Biaya kehilangan produksi didasarkan atas output produksi dan laba yang seharusnya diperoleh.

Output produksi	: 24000 m ³ /hari
Laba	: Rp. 1125 (L/hari)
Biaya kehilangan produksi	: 24000 × 1125 = Rp 27.000.000
<i>Production loss</i>	: 0.041666667 × 27.000.000 = Rp 1.125.000

3. Perhitungan Biaya Pencegahan (*cost of preventive*)

Biaya ini terdiri dari biaya biaya pembelian komponen.

$$C_p (\text{cost of preventive}) = \text{Rp.7.200.000}$$

E. Selang Waktu Penggantian Komponen *Gland Packing* dengan Model *Age Replacement*

Untuk mendapatkan selang waktu antar kerusakan (tp), maka dibutuhkan data-data yang telah diperoleh sebelumnya. Data-data yang dibutuhkan untuk melakukan perhitungan selang waktu penggantian adalah:

1. Data waktu kerusakan komponen dengan distribusi lognormal dengan parameter :

$$\text{MTTF} : 39.91451167.$$

$$\text{tmed} : 35.11093922.$$

$$s : 0.506413306.$$

2. Data waktu perbaikan adalah 1 jam. Maka $T_f = T_p = 1 \text{ jam} = 0.041666667 \text{ hari}$

3. Data C_f (*Cost of Failure*) dan data C_p (*Cost of Preventive*)

$$\begin{aligned} \text{Cost of Failure} &: (\text{Total biaya komponen} + \text{Production loss}) \times \text{Amount of Failure} \\ &: (\text{Rp.7.200.000} + \text{Rp.1.125.000}) \times 19 \\ &: \text{Rp. 158.175.000} \end{aligned}$$

$$\text{Cost of Preventive} : \text{Rp.7.200.000}$$

F. Interval Waktu Penggantian (*Age Replacement*)

Dilihat dari Tabel 4.12 bahwa interval waktu penggantian jatuh pada tp ke 23 nilai tersebut dipilih berdasarkan nilai $C(tp)$ terkecil sehingga didapat interval waktu penggantian komponen *gland packing* dengan biaya termurah dengan hasil interval waktu penggantian setiap 23 hari sekali disajikan pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12. Hasil *age replacement* komponen *gland packing*.

Tp	R(tp)	F(tp)	(tp+Tp)*R(tp)	M(tp)	C(tp)
1	0.9999999999989	0.0000000000011	1.020833333	3.78002E+13	Rp 175,887.12
2	0.9999999923496	0.0000000076504	2.020833318	5217313845	Rp 171,692.88
3	0.9999994056014	0.0000005943986	3.020831538	67151084.11	Rp 167,694.03
4	0.9999910429054	0.0000089570946	4.020797318	4456189.595	Rp 163,877.53
5	0.9999406469025	0.0000593530975	5.020535331	672492.4792	Rp 160,232.75
6	0.9997573645065	0.0002426354935	6.019372465	164504.0101	Rp 156,752.94
7	0.9992746292296	0.0007253707704	7.015740626	55026.35797	Rp 153,436.45
8	0.9982536579755	0.0017463420245	8.006826215	22856.06777	Rp 150,286.99

Terusan Tabel 4.12.

Tp	R(tp)	F(tp)	(tp+Tp)*R(tp)	M(tp)	C(tp)
9	0.9964069756557	0.0035930243443	8.98842126	11108.88985	Rp 147,312.64
10	0.9934317047721	0.0065682952279	9.955013542	6076.844947	Rp 144,524.13
11	0.9890425154180	0.0109574845820	10.90007272	3642.671032	Rp 141,932.92
12	0.9829978001446	0.0170021998554	11.81645272	2347.608663	Rp 139,549.47
13	0.9751165135729	0.0248834864271	12.6968296	1604.05624	Rp 137,382.00
14	0.9652858528826	0.0347141471174	13.53411206	1149.805338	Rp 135,435.81
15	0.9534614113658	0.0465385886342	14.32178495	857.6648506	Rp 133,712.98
16	0.9396619345669	0.0603380654331	15.05416724	661.5146074	Rp 132,212.53
17	0.9239607321297	0.0760392678703	15.72658163	524.9197262	Rp 130,930.74
18	0.9064754488368	0.0935245511632	16.33544298	426.781109	Rp 129,861.60
19	0.8873574674085	0.1126425325915	16.87827849	354.3467174	Rp 128,997.31
20	0.8667818077430	0.1332181922570	17.35369411	299.6175747	Rp 128,328.77
21	0.8449380483198	0.1550619516802	17.76130189	257.4100947	Rp 127,845.94
22	0.8220225372211	0.1779774627789	18.10162129	224.2672249	Rp 127,538.30
23	0.7982319770506	0.2017680229494	18.37596531	197.8237735	Rp 127,395.05
24	0.7737583471418	0.2262416528582	18.5863203	176.42424	Rp 127,405.38

G. Perhitungan Ongkos Perawatan Saat Ini dan Ongkos Usulan

Ongkos perawatan yang dikeluarkan PDAM saat ini (sebelum adanya penggantian terencana) selama periode tahun 2021-2022.

1. Perhitungan ongkos perawatan saat ini komponen gland packing :

$$\text{Failure Cost} = (\text{total biaya komponen} + \text{production loss}) \times \text{Amount of Failure.}$$

$$: (\text{Rp.7.200.000} + \text{Rp.1.125.000}) \times 19 = \text{Rp.158.175.000}$$

H. Perhitungan Ongkos Perawatan Usulan

Perhitungan ongkos perawatan usulan meliputi ongkos penggantian terencana (*preventive replacement cost*) yang didasarkan pada selang waktu penggantian yang telah diperoleh sebelumnya. Perhitungan besarnya ongkos penggantian terencana (*preventive replacement cost*) adalah:

$$\text{Preventive Replacement Cost} = \text{biaya tenaga kerja} + \text{biaya komponen}$$

1. Perhitungan ongkos perawatan usulan komponen *gland packing* :

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh bahwa selang waktu penggantian komponen gland packing adalah dengan menggunakan model age replacement yaitu 23 hari. Perhitungan dilakukan untuk periode tahun 2021-2022.

- a) *Preventive replacement cost* untuk 1 kali penggantian:

$$= \text{Rp. 127.395.05}$$

b) Jumlah penggantian operasi pompa finish water pump periode 2021-2022

$$12 \text{ bulan} \times 30 \text{ hari} = 360 \text{ hari}$$

Jumlah penggantian :

$$15,6521 \sim 16 \text{ kali}$$

c) Ongkos perawatan usulan

$$16 \times 127.395,05 = \text{Rp.}2.038.320$$

I. *Cost of Preventive Alternative*

Dilihat pada Tabel 4.13 bahwa untuk biaya penggantian pencegahan pada komponen *gland packing* pada mesin pompa finish water pump dengan model *age replacement* adalah sebesar Rp.115.200.000

Tabel 4.13. *Cost of preventive alternative.*

<i>Cost Of Preventive Alternative</i>			
Output Produksi		24.000 kubik/hari	
Laba		Rp. 1.125 / L	
Biaya Kehilangan Produksi (A)		Rp. 27.000.000	
Total Hari Kerja Tahun 2022		360 hari	
<i>Age Replacement Gland Packing</i>		23 hari sekali	
Total Jumlah Penggantian Komponen (B)		360 hari ÷ 23 = 16 kali	
Biaya Komponen			
Komponen	Harga (C)	Jumlah Unit (D)	(E) Total Biaya Komponen (C x D)
<i>Gland Packing</i>	Rp. 600.000	12	Rp. 7.200.000
Perhitungan <i>Cost of preventive alternative</i>			
Komponen	Total <i>Cost of preventive alternative</i> (E x B)		
<i>Gland.Packing</i>	Rp. 115.200.000		

J. Biaya Sebelum dan Sesudah di Lakukan *Preventif Maintenance* dengan Model *Age Replacement*

1. Perhitungan ongkos perawatan saat ini komponen gland packing :Rp.158.175.000
2. Perhitungan ongkos perawatan usulan komponen gland packing : Rp. 115.200.000
3. Tingkat efisiensi dari perhitungan perawatan saat ini dan usulan :Rp. 158.175.000 – Rp. 115.200.000 = Rp. 42.975.000

4. Kesimpulan

1. Pemilihan komponen kritis menggunakan metode ABC analysis dan di tampilkan dengan diagram *paretto* menunjukkan kelas A jatuh kepada komponen *gland packing* dengan mewakili nilai sebesar 61.54% dari total penggunaan biaya.
2. Model *Age Replacement* menunjukkan selang waktu penggantian komponen yaitu 23 hari sekali, yang mengindikasikan bahwa komponen tersebut harus dilakukan penggantian sebelum rusak kembali di hari ke 23 berikutnya .
3. Tingkat efisiensi yang menjadi dampak positif pada penghematan biaya adalah sebesar Rp. 42.975.000 atau sebesar 27.16% dari total biaya sebelumnya yaitu sebesar Rp. 158.175.000.

5. Ucapan Terima Kasih

Terima kasih diucapkan kepada Laboratorium dan Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Magelang yang telah mendukung pelaksanaan penelitian ini.

Referensi

- Corder & Kusnul Hadi, A. S. (1992). *Teknik Manajemen Perawatan*. Erlangga.
- David D. Bedworth, & J. E. B. W. (1987). *Integrated Production, Control Systems: Management, Analysis, and Design*. New York John Wiley & Sons, Inc.
- Dhillon, B. S. (2002). *Engineering maintenance: A modern approach*. In *Engineering Maintenance: A Modern Approach*. CRC Press LLC, United States of America.
- Ekawati, C., & Mustofa, F. H. (2016). Jadwal Perawatan Preventive Pada Mesin Dyeing Menggunakan Metode Age Replacement di PT . Nobel Industries. *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional*, 4(2), 137–148.
- Evan, P. (2020). Centrifugal Pump Basics. The Engineering Mindset. Akses Desember 2023. <https://theengineeringmindset.com/centrifugal-pump-basics-2/>.
- Fansuri, F. R., Widiasih, W., & Nuha, H. (2017). Penentuan Interval Waktu Perawatan Preventive Maintenance Dan Biaya Perawatan Mesin Bandsaw Di CV . Sisi Jati Bening Dengan Metode Age Replacement. *Optimasi Sistem Industri*, 1(1), 1–14.
- Gaspersz, V. (1998). *Manajemen Produktivitas Total Strategi Peningkatan Produktivitas Bisnis Global*. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Ginting, M. (2009). Analisis Total Productive Maintenance Terhadap Efektivitas Produksi Tongkat. *Jurnal Austenit*, 1(2), 31–37.
- Jardine, A. K. S., & Tsang, A. H. C. (2013). *Maintenance, replacement, and reliability: Theory and applications, second edition*. In *Maintenance, Replacement, and Reliability: Theory and Applications*, Second Edition.
- Jay Heizer dan Barry render. (2011). *Pengaruh Persediaan Bahan Baku dan Proses Produksi Terhadap Kualitas Produk*. Penerbit Salemba Empat, Jakarta.

- Kurniawan, F. (2013). *Manajemen Perawatan Industri (Teknik dan Aplikasi)*. Graha Ilmu.
- Muhsin, A., & Syarafi, I. (2018). Analisis Keandalan Dan Laju Kerusakan Pada Mesin Continues Frying (Studi Kasus : PT XYZ). *Jurnal (OPSI) Optimasi Sistem Industri*, 11(1), 28–34.
- Ngadiyono, Y. (2013). *Pemeliharaan Mekanik Industri*. Deepublish Yogyakarta.
- Nisak, K., Nursanti, E. & Priyasmanu, T. (2022). Analisis Tingkat Keandalan Dan Penentuan Interval Waktu Pemeliharaan Mesin Pompa Air Di Perumda Air Minum Tugu Tirta Kota Malang. *Jurnal Valtech*, 5(2), 217–223.
- Praharsi, Y., Sriwana, I. K. & Sari, D. M. (2015). Perancangan Penjadwalan Preventive Maintenance Pada PT Artha Prima Sukses Makmur. *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 14(1), 59–65.
- Prawiro, Y. Y. (2017). Penentuan Interval Waktu Penggantian Komponen Kritis Pada Mesin Volpack Menggunakan Metode Age Replacement. *Jurnal Teknik Industri*, 16(2), 92–100.
- Purnama, J., Putra, Y. A. & Kalamollah, M. (2015). Metode Age Replacement Digunakan Untuk Menentukan Interval Waktu Perawatan Mesin Pada Armada Bus. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan III*, 115–126.
- Ramadhan, M. A. Z., & Sukmono, T. (2018). Penentuan Interval Waktu Preventive Maintenance Pada Nail Making Machine Dengan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) II. *Prozima (Productivity, Optimization and Manufacturing System Engineering)*, 2(2), 49–57.
- Sachbudi, A. (2005). *Rekayasa Keandalan Produk*. Teknik Industri, Universitas indonusa Esa Unggul, Jakarta.
- Sofjan, A. (2009). *Manajemen Pemasaran*. PT RajaGrafindo Persada
- Suryani, F., Siti Ayu Syarifa, & Azhari, A. (2023). Analisis Preventive Maintenance Komponen Mesin Pulp Dengan Metode Age Replacement. *Journal of Industrial and Manufacture Engineering*, 7(1), 115–125.
- Tamara, F. (2014). *Analisis Prediksi Waktu Kegagalan Transformator Menggunakan Distribusi Weibull dan Distribusi Eksponensial*. Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- Tampubolon, M. P. (2004). *Manajemen Operasional*. Ghalia Indonesia, Jakarta.
- 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.
- Utama, F. Y., & Wibowo, H. (2018). Analisis Preventive Maintenance Terhadap Submersible Pump 100 Dlc5 7, 5 T Dalam Instalasi Pengolahan Air Limbah. *Inajet*, 01(1), 35–43.
- Widodo, E. M., Rifa'i, A., & Prastiawan, D. (2022). Kebijakan Perawatan Pompa Sentrifugal Di Instalasi Sumber Mata Air Kanoman I PDAM Kota Magelang. *Borobudur Engineering Review*. 2(2), 94–112.
- Zamani, A. B., Nuruddin, M., & Dahda, S. S. (2023). Penentuan Interval Penggantian Komponen Mesin Pengayakan Batu Bara Menggunakan Metode Age Replacement. VIII(1), *Jurnal Serambi Engineering*, 4341–4352.