

Penentuan Interval Penggantian Komponen Mesin Pengayakan Batu Bara Menggunakan Metode *Age Replacement*

Ahmad Badriez Zamani¹, Moch. Nuruddin², Said Salim Dahda³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Gresik Indonesia

*Koresponden email : ahmadbadriezzamani1@gmail.com¹, said_salim@umg.ac.id³

Diterima : 19 Oktober 2022

Disetujui : 10 November 2022

Abstract

Pt. X is a manufacturing industry company, where one of the machines used is a Coal Sieving Machine. Because this machine is used continuously, as a result of which regular maintenance is needed. This engine has two critical components, namely the gearbox & V-Belt Conveyor components. During this time, PT. X performs suboptimal repair activities, namely the technician only updates the time component of the damage that can result in downtime. The purpose of this study is to determine alternative time intervals for mechanical component replacement and analyze appropriate preventive maintenance practices to reduce total downtime caused by the age replacement method approach. The results of the study obtained the replacement time interval for gearbox components is 14 days while in the V-Belt Conveyor component, which is on the 16th day. The total cost of replacing gearbox components due to damage is Rp. 3,286,955 and the calculation of total maintenance costs (TC*) is Rp. 56,549,187. As for the replacement of V-Belt Conveyor components due to damage of Rp. 3,101,104 and the calculation of the total maintenance cost (TC*) of Rp. 58,260,118.

Keywords : *age replacement, downtime, maintenance, reliability, optimal time*

Abstrak

PT. X merupakan perusahaan industri manufaktur dimana salah satu mesin yang digunakan merupakan Mesin Pengayakan Batu bara. Lantaran mesin ini dipakai terus menerus, sebagai akibatnya perawatan rutin diperlukan. Mesin ini mempunyai dua komponen kritis yaitu komponen *gearbox & V-Belt Conveyor*. Selama ini, PT. X melakukan aktivitas perbaikan yang kurang optimal yakni teknisi hanya membarui komponen waktu terjadi kerusakan yang bisa mengakibatkan terjadinya *downtime*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan interval waktu alternatif untuk penggantian komponen mekanis dan menganalisis praktik *preventive maintenance* yang tepat untuk mengurangi total *downtime* yang disebabkan dengan pendekatan metode *age replacement*. Hasil penelitian diperoleh interval waktu penggantian untuk komponen *gearbox* adalah 14 hari sedangkan pada komponen *V-Belt Conveyor* yaitu pada hari ke 16. Total biaya penggantian komponen *gearbox* akibat kerusakan sebesar Rp. 3.286.955 dan perhitungan total biaya perawatan (TC*) sebesar Rp. 56.549.187. Sedangkan untuk penggantian komponen *V-Belt Conveyor* akibat kerusakan sebesar Rp. 3.101.104 dan perhitungan total biaya perawatan (TC*) sebesar Rp. 58.260.118.

Kata Kunci : *penggantian usia mesin, waktu henti, perawatan, keandalan, waktu optimal*

1. Pendahuluan

Industri sekarang berada di era 5.0, dan situasi ini mempengaruhi perkembangan dan persaingan industri semakin pesat. Dengan meningkatnya persaingan industri di pasar global, semua perusahaan perlu memperlancar arus produksi dan meningkatkan efektivitas dan efisiensi operasional bisnis. Salah satu hal yang membantu kelancaran perusahaan adalah dengan memiliki mesin produksi yang siap berkontribusi untuk melaksanakan pekerjaan [1]. Perusahaan melakukan pekerjaan pemeliharaan untuk menjaga mesin produksinya dalam kondisi baik. Kegiatan *maintenance* mesin dilakukan secara terus menerus untuk meningkatkan produktivitas dan mengurangi *downtime* akibat kerusakan mesin produksi [2].

Maintenance didefinisikan sebagai konsep semua kegiatan yang diperlukan untuk menjaga mesin dalam kondisi baik, berfungsi dengan baik dan mengendalikan biaya untuk mencapai standar kualitas dan kinerja yang diharapkan [3], [4]. *Maintenance* dapat dibagi menjadi dua bidang yaitu pemeliharaan preventif dan pemeliharaan reaktif [5]. Salah satu kegiatan pemeliharaan yang paling penting adalah kegiatan penggantian (*replacement*). Hal ini dimaksudkan untuk mengganti komponen mesin yang sudah tua dan tidak berfungsi seperti komponen baru [6]. Kegiatan *replacement* dapat dilakukan secara berkala atau jika terjadi kerusakan perangkat [7]. Kegiatan *maintenance* yang baik memberikan efek positif bagi perusahaan terutama dalam meminimalkan biaya pemeliharaan sistem [8].

Saat menjalankan proses manufaktur, mesin mempunyai potensi keberhasilan sistem sembari meminimalkan risiko terjadinya kegagalan sistem. Dengan keadaan seperti ini, *maintenance* memegang peranan krusial pada keandalan (*reliability*) dan pemeliharaan mesin produksi supaya proses produksi tetap berjalan dengan lancar [9]. Keandalan merupakan probabilitas bahwa suatu unit atau sistem akan berfungsi secara normal dan tanpa kegagalan yang sinkron sesuai dengan fungsinya yang diperlukan pada waktu yang ditentukan [2], [10]. Keandalan mesin produksi dengan kinerja yang prima selalu dibutuhkan untuk meningkatkan kinerja produksi di setiap perusahaan. Namun, kenyataannya adalah jika penggunaan tenaga mesin dilakukan secara terus menerus, keandalan mesin yang akan menurun dari waktu ke waktu. Selain itu mesin *downtime*, gangguan proses produksi dan inefisiensi dapat terjadi [11].

PT. X merupakan perusahaan manufaktur yang selalu menjamin kelancaran mesin-mesin yang terlibat dalam proses produksi. Salah satu mesin yang digunakan adalah mesin pengayakan batu bara. Mesin pengayakan batu bara adalah mesin yang berfungsi sebagai pemisah batu bara dengan sistem kerja yang mengelompokkan partikel-partikel yang melewati lubang-lubang pada ayakan sehingga partikel-partikel tersebut terbagi menjadi kelompok-kelompok yang melewati lubang-lubang di ayakan dan kelompok yang tidak. Karena penggunaan mesin ini secara terus menerus, perawatan rutin diperlukan untuk menjaga agar mesin bekerja dengan baik. Mesin pengayakan batu bara memegang peranan yang sangat penting dalam proses produksi perusahaan, sehingga mesin harus dijaga dalam kondisi prima untuk menghindari kerusakan yang berlebihan dan *downtime*.

Setelah melakukan observasi, penulis menemukan masalah pada mesin pengayakan batu bara. Masalah diidentifikasi pada komponen alas mesin, gigi *gear motor*, *gearbox*, *v-belt conveyor* dan alas karet *conveyor*. Selama ini perusahaan hanya menggunakan sistem *breakdown maintenance*. Artinya jika suatu mesin mengalami kerusakan maka akan dilakukan perbaikan yang dapat mengganggu proses produksi. Hal ini berdampak pada meningkatnya biaya *downtime* yang harus dikeluarkan dalam proses perbaikan. Dari fakta tersebut, dapat disimpulkan bahwa kelancaran proses pengayakan batu bara di PT X seringkali terganggu oleh kerusakan mesin akibat perbaikan komponen yang sangat merugikan perusahaan. **Tabel 1** menunjukkan data kerusakan dan *downtime* mesin pengayakan batu bara pada periode April 2021 hingga Juli 2022 yang mengganggu proses produksi.

Tabel 1. Ringkasan kerusakan dan *downtime* mesin pengayakan batu bara untuk periode dari April 2021 hingga Juli 2022

Komponen	Frekuensi Kerusakan	<i>Downtime</i> (jam)	<i>Persentase Downtime</i>
Alas Mesin	3	4	3%
Gigi <i>Gear Motor</i>	12	25	17%
<i>Gearbox</i>	27	55	38%
<i>V-Belt Conveyor</i>	22	52	36%
Alas Karet <i>Conveyor</i>	6	10	7%
Total	70	146	100%

Sumber : Data histori di PT. X, 2022

Berdasarkan data pada **Tabel 1**, data kerusakan dan *downtime* mesin pengayakan batu bara di PT. X pada periode April 2021 hingga Juli 2022 ditampilkan, dimana memiliki dua komponen kritis yaitu komponen *gearbox* dan *V-Belt Conveyor*. Selama ini, PT. X telah melakukan kegiatan perbaikan berupa *preventive maintenance* yang kurang optimal karena tidak ada jadwal rutin penggantian komponen. Berdasar pengamatan, disimpulkan bahwa tidak ada jadwal penggantian komponen secara teratur yang dapat menyebabkan *downtime* yang tidak terjadwal (*unplanned downtime*), karena teknisi hanya mengganti komponen jika rusak. *Unplanned downtime* yang terjadi pada proses pengayakan batu bara di PT. X menimbulkan beberapa kerugian, seperti peningkatan biaya selama proses penggantian, waktu operator yang hilang dan tingkat produktivitas yang berkurang. Oleh karena itu, dalam kondisi ini, perlu untuk menetapkan interval waktu untuk penggantian komponen mesin secara teratur. Berdasarkan permasalahan di atas, penelitian ini menerapkan metode *Age Replacement* sebagai upaya untuk menentukan interval waktu penggantian komponen mesin pengayakan batu bara.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan interval waktu alternatif penggantian komponen mesin pengayakan batu bara di PT. X dan menganalisis penerapan *preventive maintenance* yang tepat untuk mengurangi jumlah *downtime*. Hal ini dapat meningkatkan keandalan mesin pengayakan batu bara dalam pendekatan metode *Age Replacement*. Metode *Age replacement* merupakan metode perawatan preventif yang dapat memprediksi secara akurat penggantian komponen yang telah mencapai umur tertentu berdasarkan data historis kerusakan serta dapat menghilangkan kegagalan [12], [13].

Preventive maintenance didefinisikan sebagai perawatan rutin komponen mesin sebelum terjadi kerusakan [14]. Kegiatan ini dimaksudkan untuk menjamin keandalan sebagian atau seluruh mesin, menjamin keselamatan teknisi saat mengoperasikan mesin, dan mengurangi biaya *downtime* akibat kegagalan mesin [15]. Dengan metode ini, PT.X diharapkan mampu mendeteksi komponen kritis dari mesin pengayakan batu bara lebih dini, karena pada dasarnya semua jenis komponen mesin memiliki masa pakai yang berbeda-beda.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini mencakup semua kegiatan yang telah peneliti lakukan untuk memecahkan masalah yang ada di PT. X. Sumber data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh dari wawancara dan observasi dengan teknisi mesin pengayakan batu bara. Sedangkan data sekunder yang diterima dari departemen *engineering* meliputi data kerusakan dan *downtime* mesin pengayakan batu bara untuk periode April 2021 hingga Juli 2022.

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif untuk memperoleh informasi dan data untuk pemecahan masalah di PT. X menggunakan metode *Age Replacement*. Untuk memecahkan masalah di PT. X mengacu pada penentuan interval penggantian komponen mesin pengayakan batu bara menggunakan metode *Age Replacement*, berikut langkah-langkah untuk mengatasinya [2], [16] :

a. Uji distribusi

Tahap awal ini merupakan pengujian distribusi yang bertujuan untuk memilih pola distribusi yang menghasilkan nilai Anderson-Darling terendah.

b. Hasil Uji Kesesuaian Data dan Estimasi Parameter

Pada tahap ini dilakukan uji kesesuaian data untuk menentukan jenis distribusi dan estimasi parameter yang sesuai.

c. Perhitungan *Mean Time to Failure* (MTTF) dan *Mean Time to Repair* (MTTR)

Langkah ini menghitung MTTR dan MTTF diperoleh dari hasil distribusi yang sesuai. MTTF adalah waktu alat ketika mengalami kerusakan, dan MTTR adalah waktu tunggu rata-rata komponen pulih.

d. Menghitung jadwal penggantian komponen mesin dengan Metode *Age Replacement*

Pada langkah ini, menentukan penjadwalan penggantian komponen mesin untuk mengetahui waktu terbaik melakukan *preventive maintenance*.

e. Perhitungan perkiraan biaya penggantian komponen mesin

Langkah terakhir, menghitung perkiraan biaya penggantian komponen mesin dengan penerapan metode *age replacement* untuk menentukan tingkat biaya pemeliharaan.

Rumus berikut yang digunakan saat menerapkan metode *Age Replacement* [2], [8]:

$$R(tp) = \int_0^t f(t) dt = \exp \left[- \left(\frac{t}{\alpha} \right)^\beta \right] \quad (1)$$

$$F(tp) = 1 - R(tp) \quad (2)$$

$$D(tp) = \frac{(Tp \times R(tp)) + (tF \times [1 - R(tp)])}{((tp + Tp) \times R(tp)) + ((M(tp) + Tf) \times [1 - R(tp)])} \quad (3)$$

$$M(tp) = \frac{MTTF}{F(tp)} \quad (4)$$

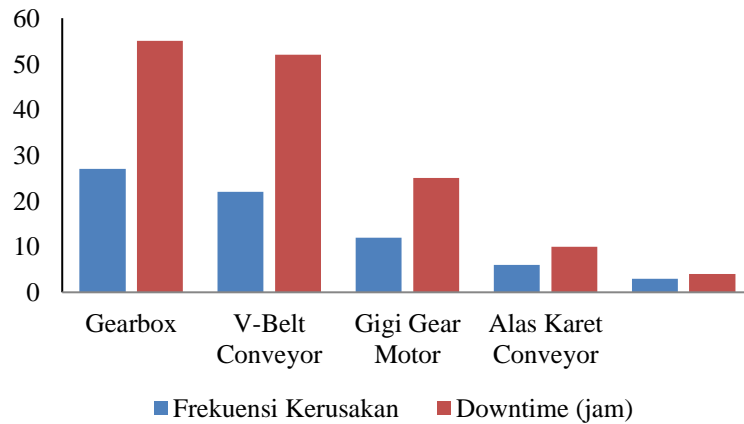
Variabel yang digunakan dalam penerapan metode *age replacement* [2], [8] :

- a. *Mean Time to Failure* (MTTF) dan *Mean Time to Repair* (MTTR)
- b. Interval waktu penggantian karena pencegahan (tp)
- c. *Downtime* akibat penggantian kerusakan mesin (Tf)
- d. *Downtime* akibat penggantian pencegahan mesin (Tp)

- e. Probabilitas komponen yang andal ($R(tp)$)
- f. Probabilitas kegagalan komponen mesin ($F(tp)$)
- g. Probabilitas total *downtime* per satuan waktu ($D(tp)$)
- h. Nilai *Maintenability* ($M(tp)$)

3. Hasil dan Pembahasan

Data historis kerusakan dan *downtime* mesin pengayakan batu bara yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari data historis periode April 2021 hingga Juli 2022. Data interval penggantian komponen mesin digunakan untuk menganalisis pola kerusakan komponen mesin kritis dan menentukan interval penggantian komponen kritis. **Gambar 1** menunjukkan data komponen mesin pengayakan batu bara yang digunakan sebagai objek penelitian.



Gambar 1. Diagram komponen mesin pengayakan batu bara
 Sumber : Data histori di PT. X, 2022

Mengacu pada **Gambar 1**, komponen kritis dari mesin pengayakan batu bara di PT. X ditampilkan. Studi ini berfokus pada dua jenis komponen kritis yakni komponen *gearbox* dan *V-Belt Conveyor* yang memiliki jumlah *downtime* paling banyak. Komponen *gearbox* bertindak sebagai penggerak utama untuk sistem transmisi mesin pengayak batu bara, dan *V-belt conveyor* bertindak sebagai penghubung antara *pulley gearbox* dengan *pulley* poros tabung ayakan untuk memungkinkan rotasi yang tepat. **Tabel 2** menunjukkan data kerusakan dan penggantian komponen kritis mesin pengayakan batu bara.

Tabel 2. Data kerusakan dan penggantian komponen mesin pengayakan batu bara periode April 2021 hingga Juli 2022

No.	Tanggal Mulai	Tanggal Selesai	<i>Downtime</i> (Jam)	Komponen
1.	09/04/2021	09/04/2021	5	<i>V-Belt Conveyor</i>
2.	15/04/2021	15/04/2021	3	<i>V-Belt Conveyor</i>
3.	15/04/2021	15/04/2021	5	<i>Gearbox</i>
4.	18/04/2021	18/04/2021	4	<i>Gearbox</i>
5.	08/05/2021	08/05/2021	4	<i>Gearbox</i>
6.	15/05/2021	15/05/2021	4	<i>V-Belt Conveyor</i>
7.	17/05/2021	17/05/2021	5	<i>V-Belt Conveyor</i>
8.	13/06/2021	13/06/2021	3	<i>Gearbox</i>
9.	17/06/2021	17/06/2021	3	<i>V-Belt Conveyor</i>
10.	10/07/2021	10/07/2021	3	<i>V-Belt Conveyor</i>

No.	Tanggal Mulai	Tanggal Selesai	Downtime (Jam)	Komponen
11.	16/07/2021	16/07/2021	2	<i>Gearbox</i>
12.	22/07/2021	22/07/2021	4	<i>V-Belt Conveyor</i>
13.	25/07/2021	25/07/2021	5	<i>Gearbox</i>
14.	02/08/2021	02/08/2021	5	<i>V-Belt Conveyor</i>
15.	29/08/2021	29/08/2021	3	<i>Gearbox</i>
16.	11/09/2021	11/09/2021	3	<i>Gearbox</i>
17.	11/09/2021	11/09/2021	4	<i>V-Belt Conveyor</i>
18.	08/10/2021	08/10/2021	3	<i>V-Belt Conveyor</i>
19.	30/10/2021	30/10/2021	2	<i>Gearbox</i>
20.	11/11/2021	11/11/2021	2	<i>Gearbox</i>
21.	27/11/2021	27/11/2021	5	<i>Gearbox</i>
22.	06/12/2021	06/12/2021	4	<i>V-Belt Conveyor</i>
23.	03/01/2022	03/01/2022	2	<i>Gearbox</i>
24.	06/01/2022	06/01/2022	5	<i>Gearbox</i>
25.	22/01/2022	22/01/2022	2	<i>Gearbox</i>
26.	03/02/2022	03/02/2022	4	<i>V-Belt Conveyor</i>
27.	04/02/2022	04/02/2022	4	<i>Gearbox</i>
28.	06/02/2022	06/02/2022	5	<i>V-Belt Conveyor</i>
29.	20/02/2022	20/02/2022	4	<i>Gearbox</i>

Sumber : Data histori pada PT. X, 2022

Berdasarkan **Tabel 2**, data kerusakan dan waktu penggantian untuk komponen kritis yang sering terjadi kerusakan dan *downtime* dari mesin pengayakan batu bara di PT. X. Komponen kritis ditentukan berdasarkan kriteria frekuensi kerusakan komponen, mode kerusakan fatal dan dampak terhadap proses produksi. Data biaya pembelian komponen kritis mesin pengayakan batu bara terlihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Biaya pembelian komponen kritis mesin pengayakan batu bara

No.	Komponen	Biaya Pembelian Untuk Komponen
1.	<i>Gearbox</i>	Rp 1.500.000
2.	<i>V-Belt Conveyor</i>	Rp 800.000

Sumber : Data histori di PT. X, 2022

Berdasarkan **Tabel 3**, data biaya yang ditanggung PT. X untuk membeli komponen dari mesin pengayakan batu bara saat mengganti komponen baru. Data biaya standar di PT. X, yang dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Standar biaya pada PT. X

No.	Nama Biaya	Jumlah
1.	Gaji Operator	Rp 4.000.000/Bulan
2.	Gaji Mekanik	Rp 5.000.000/Bulan
3.	Kapasitas Produksi	5800 kg/Hari
4.	Biaya Produksi	Rp 250.000/kg
5.	Harga Jual Produk	Rp 6.000/kg
6.	Biaya <i>Downtime</i>	Rp 10.000.000/Jam
7.	Biaya Kehilangan Produksi	Rp 5.000.000/Jam

Sumber : Data histori di PT. X, 2022

Berdasarkan **Tabel 4**, menunjukkan data biaya standar yang harus ditanggung oleh PT. X. Adapun biaya tersebut yakni gaji operator, gaji mekanik, kapasitas produksi, biaya produksi, harga jual produk, biaya *downtime* dan biaya kehilangan produksi. Berikut ini data waktu penggantian karena kerusakan (Tf) dan penggantian karena pencegahan (Tp) ditunjukkan pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Data waktu penggantian kerusakan dan pencegahan komponen kritis mesin pengayakan batu bara

Kegiatan	Komponen <i>Gearbox</i>		Komponen <i>V-Belt Conveyor</i>	
	Waktu Penggantian Kerusakan (Menit)	Waktu Penggantian Pencegahan (Menit)	Waktu Penggantian Kerusakan (Menit)	Waktu Penggantian Pencegahan (Menit)
Mencari kerusakan	10	-	5	-
Memeriksa komponen yang rusak	120	60	30	15
Menunggu komponen pengganti datang	10	-	10	-
Memasang komponen pengganti	150	150	90	90
Memasang kembali mesin	30	30	20	20
Total	320	240	155	125

Sumber : Data histori di PT. X, 2022

Berdasarkan **Tabel 5**, ditampilkan data waktu penggantian karena kerusakan dan data waktu penggantian karena pencegahan terhadap komponen kritis dari mesin pengayakan. Adapun beberapa kegiatannya meliputi mencari kerusakan, memeriksa komponen yang rusak, menunggu komponen pengganti datang, memasang komponen pengganti dan memasang kembali mesin.

Pengujian Distribusi

Langkah pertama adalah menguji distribusi. Pengujian ini dilakukan untuk memilih distribusi yang menghasilkan nilai Anderson-Darling terendah saat mengevaluasi distribusi data kerusakan dan penggantian komponen mesin pengayakan batu bara di PT. X yang diproses dengan *software* Minitab 16. Data waktu antar kerusakan diperoleh dengan menghitung selisih waktu antara kerusakan pertama dengan kerusakan berikutnya. Hasil pengujian distribusi ditunjukkan pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Pengujian distribusi komponen mesin pengayakan batu bara periode April 2021 - Juli 2022

Komponen	Keterangan	Anderson-Darling			
		Distribusi Weibull	Distribusi Lognormal	Distribusi Normal	Distribusi Eksponensial
Gearbox	Downtime (D1)	1,178	1,340	1,318	2,169
	Jarak antar kerusakan (D2)	1,695	1,786	1,824	6,368
V-Belt Conveyor	Downtime (D1)	1,193	1,373	1,418	1,399
	Jarak antar kerusakan (D2)	1,835	2,051	1,893	7,726

Sumber : Data histori di PT. X, 2022

Data pada **Tabel 6** menyajikan hasil uji distribusi komponen mesin pengayakan batu bara periode April 2021 – Juli 2022. Adapun komponen *gearbox* diketahui nilai Anderson Darling terkecil sebesar 1,178 untuk nilai distribusi *downtime* dan 1,695 untuk nilai distribusi jarak antar kerusakan. Pada *komponen V-Belt conveyor* diketahui nilai anderson darling terkecil sebesar 1,193 untuk nilai distribusi *downtime* dan 1,835 untuk nilai distribusi jarak antar kerusakan.

Hasil Uji Kecocokan Data dan Estimasi Parameter

Setelah menerima hasil pola distribusi untuk pengujian data kerusakan komponen kritis pada mesin pengayakan batu bara di PT.X, langkah selanjutnya adalah pengujian kesesuaian data. Pada **Tabel 6** menunjukkan bahwa nilai Anderson terkecil dari kedua distribusi sesuai dengan distribusi Weibull. Kemudian, pada langkah selanjutnya menentukan parameter dari dua tipe D1 dan D2 yang sesuai dengan distribusi Weibull. Distribusi Weibull memiliki dua parameter yaitu parameter β (Shape) dan η (Scale). Rangkuman hasil perhitungan uji kecocokan data dan estimasi parameter distribusi weibull disajikan pada **Tabel 7**.

Tabel 7. Hasil pengujian kesesuaian data dan estimasi parameter komponen kritis mesin pengayakan batu bara

Komponen	Keterangan	Jenis Distribusi	Anderson-Darling	
			β (Shape)	η (Scale)
Gearbox	Distribusi 1	Weibull	1,412	23,199
	Distribusi 2	Weibull	3,360	3,787
V-Belt Conveyor	Distribusi 1	Weibull	1,027	27,489
	Distribusi 2	Weibull	5,990	4,285

Sumber : Data histori di PT. X, 2022

Dapat dilihat dari data pada **Tabel 7** bahwa hasil perhitungan uji kesesuaian data dan estimasi parameter menurut distribusi Weibull dengan menggunakan *software* Minitab 16. Distribusi 1 menggambarkan uji distribusi waktu *downtime* komponen mesin sedangkan distribusi 2 menggambarkan jarak waktu terjadinya kerusakan pada komponen mesin. Adapun nilai parameter untuk setiap distribusi diperoleh dengan mempertimbangkan nilai *estimate* pada saat pengujian distribusi tersebut.

Perhitungan Mean Time to Failure (MTTF) dan Mean Time to Repair (MTTR)

Pada langkah ini, perhitungan dilakukan untuk menentukan nilai *Mean Time to Failure* (MTTF) dan *Mean Time to Repair* (MTTR). MTTF adalah jumlah rata-rata waktu kerusakan yang akan dialami oleh sistem. Sedangkan MTTR adalah waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki mesin yang rusak. Dalam penelitian ini, perhitungan MTTR dan MTTF dihitung menggunakan distribusi Weibull. Hasil perhitungan nilai MTTR dan MTTF untuk komponen kritis mesin pengayakan batu bara di PT. X dapat dilihat pada **Tabel 8**.

Tabel 8. Ringkasan hasil MTTF dan MTTR komponen kritis mesin pengayakan batu bara

Komponen	Keterangan	MTTR (Jam)	MTTF (Hari)
Gearbox	Distribusi 1	21,115	17,896
	Distribusi 2	3,400	3,696
V-Belt Conveyor	Distribusi 1	27,191	19,238
	Distribusi 2	3,976	5,031

Sumber : Data histori di PT. X, 2022

Berdasarkan data pada **Tabel 8** dapat terlihat rekapitulasi hasil perhitungan MTTF dan MTTR untuk komponen kritis mesin pengayakan batu bara di PT.X dengan bantuan *software* Minitab 16. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa untuk distribusi *downtime* pada komponen *gearbox* menghasilkan nilai MTTR adalah $21,115 = 21$ jam dan MTTF adalah $17,896 = 18$ hari. Sedangkan untuk distribusi jarak kerusakan pada komponen *gearbox* menghasilkan nilai MTTF adalah $3,696 = 4$ hari. Pada Hasil perhitungan untuk distribusi *downtime* pada komponen *V-Belt Conveyor* menghasilkan nilai MTTR adalah $27,191 = 27$ jam dan MTTF adalah $19,238 = 19$ hari. Sedangkan untuk distribusi jarak kerusakan pada komponen *V-Belt Conveyor* menghasilkan nilai MTTF adalah $5,031 = 5$ hari.

Perhitungan Penjadwalan Penggantian Komponen Mesin Dengan Metode Age Replacement

Pada langkah ini dilakukan perhitungan untuk menentukan interval waktu penggantian mesin pengayakan batu bara, yang ditentukan secara *trial and error* menggunakan model *Age Replacement*. Model *Age Replacement* dihitung dengan menghitung nilai reliabilitas ($R(tp)$), nilai probabilitas kegagalan ($F(tp)$), nilai *maintainability* ($M(tp)$) dan juga nilai *downtime* ($D(tp)$). Adapun penentuan interval waktu penggantian komponen yang paling optimal berdasarkan kriteria nilai *downtime* yang paling rendah. Dibawah ini adalah ringkasan perhitungan penggantian komponen mesin *gearbox* menggunakan metode *age replacement* yang ditunjukkan pada **Tabel 9**.

Tabel 9. Ringkasan perhitungan penjadwalan penggantian komponen *gearbox*

tp	R(tp)	F(tp)	M(tp)	D(tp)
13	0,643127	0,356873	50,14667	0,11003
14	0,612561	0,387439	46,19054	0,10987
15	0,582600	0,417400	42,87495	0,10988
16	0,553331	0,446669	40,06542	0,11006
17	0,524825	0,475175	37,66191	0,11039
18	0,497142	0,502858	35,58859	0,11086
19	0,470329	0,529671	33,78700	0,11145
20	0,44421	0,555579	32,21144	0,11215
21	0,419445	0,580555	30,82568	0,11296
22	0,395419	0,604581	29,60069	0,11386
23	0,372354	0,627646	28,51290	0,11484

Sumber : Data histori di PT. X, 2022

Dari data pada **Tabel 9** terlihat bahwa ringkasan perhitungan penggantian komponen mesin *gearbox* menggunakan metode *age replacement*, mengakibatkan nilai Dt menurun pada tp 14 hari dan pada tp 15 nilai Dt naik. Oleh karena itu Tp 14 itu termasuk nilai optimal untuk waktu penggantian komponen

gearbox. Nilai $R(tp)$ sebesar 0,612561 merupakan nilai *reliabilitas* mesin pada saat tp , sedangkan nilai $F(tp)$ sebesar 0,387439 merupakan probabilitas terjadinya kerusakan pada saat tp . Kemudian nilai $M(tp)$ sebesar 46,19054 adalah waktu rata-rata kegagalan ketika penggantian pencegahan dilakukan pada saat tp . Di sisi lain nilai $D(tp)$ sebesar 0,10987 adalah probabilitas *downtime* terendah pada saat tp . Berikut adalah ringkasan perhitungan penjadwalan penggantian komponen mesin *V-Belt Conveyor* menggunakan metode *Age Replacement* yang ditunjukkan pada **Tabel 10** di bawah ini.

Tabel 10. Rekapitulasi perhitungan penjadwalan penggantian komponen V-Belt Conveyor

tp	R(tp)	F(tp)	M(tp)	D(tp)
14	0,504430	0,4955704	38,8199	0,10390
15	0,486099	0,5139008	37,4352	0,10381
16	0,468411	0,5315885	36,1896	0,10378
17	0,451346	0,5486542	35,0640	0,10381
18	0,434882	0,5651179	34,0425	0,10389
19	0,606470	0,3935303	48,8857	0,10553
20	0,584604	0,4153962	46,3124	0,10503
21	0,563489	0,4365111	44,0722	0,10462
22	0,543103	0,4568972	42,1058	0,10430
23	0,523424	0,4765764	40,3671	0,10406
24	0,419001	0,5809993	33,1119	0,10402

Sumber : Data histori di PT. X, 2022

Dari data pada **Tabel 10** terlihat bahwa ringkasan perhitungan penjadwalan penggantian komponen mesin *V-Belt Conveyor* yang menghasilkan penurunan nilai Dt pada nilai tp 16 hari dan pada tp 17 nilai Dt naik. Oleh karena itu, tp 16 itu termasuk nilai optimal untuk waktu penggantian komponen *V-Belt Conveyor*. Nilai $R(tp)$ sebesar 0,46841 merupakan nilai *reliabilitas* mesin pada saat waktu tp dan nilai $F(tp)$ sebesar 0,5315885 merupakan probabilitas kerusakan yang terjadi pada saat waktu tp . Kemudian untuk nilai $M(tp)$ sebesar 36,1896 adalah waktu rata-rata terjadinya kerusakan jika penggantian pencegahan dilakukan saat tp . Sementara nilai $D(tp)$ sebesar 0,10378 merupakan nilai probabilitas *downtime* yang paling rendah pada rentang waktu tp .

Perhitungan Perkiraan biaya penggantian pada komponen mesin

Beberapa perhitungan dilakukan pada langkah ini, dimulai dengan menghitung biaya *downtime* dan tenaga kerja, biaya penggantian komponen karena perawatan, biaya penggantian komponen karena kerusakan, dan perhitungan total biaya perawatan dengan menggunakan metode *Age Replacement*. Adapun perhitungan biaya penggantian pada komponen mesin adalah sebagai berikut :

1. Biaya downtime dan tenaga kerja

Biaya *downtime* adalah biaya yang terjadi karena perusahaan tidak dapat menjalankan proses produksinya dengan baik. Perhitungan biaya *downtime* dan biaya tenaga kerja sebagai berikut :

a. Laba yang hilang

$$\begin{aligned} \text{Laba yang hilang} &= (\text{Harga jual produk} - \text{Biaya produksi}) \times \text{Output per hari} \\ &= (\text{Rp } 6.000 - \text{Rp } 250.000) \times 5.800/\text{hari} = \text{Rp } 970.000.000/\text{Hari} \end{aligned}$$

b. Perhitungan biaya kerugian mesin *downtime*

$$\begin{aligned} \text{Komponen gearbox} &= \frac{\text{Waktu downtime komponen}}{\text{Konversi waktu}} \times \text{Laba yang hilang} \\ &= \frac{21,115 \text{ jam}}{60 \text{ menit}} \times \text{Rp } 970.000000 = \text{Rp } 341.359.167/\text{Jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Komponen } V\text{-Belt Conveyor} &= \frac{\text{Waktu downtime komponen}}{\text{Konversi waktu}} \times \text{Laba yang hilang} \\ &= \frac{27,191 \text{ jam}}{60 \text{ menit}} \times \text{Rp } 970.000000 = \text{Rp } 439.587.833/\text{Jam} \end{aligned}$$

c. Biaya mekanik per jam

$$\text{Biaya mekanik} = \frac{(\text{Gaji/Bulan})}{(\text{Jam kerja/Bulan})} = \frac{\text{Rp } 5.000.000}{180} = \text{Rp } 27.778 /\text{Jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya mekanik 2 orang} &= \text{Biaya mekanik 1 orang per jam} \times \text{Jumlah mekanik} \\ &= \text{Rp } 27.778 \times 2 = \text{Rp } 55.556 \end{aligned}$$

d. Biaya operator

$$\text{Biaya operator} = \frac{(\text{Gaji/Bulan})}{(\text{Jam kerja/Bulan})} = \frac{\text{Rp } 4.000.000}{180} = \text{Rp } 22.222 /\text{Jam}$$

2. Biaya penggantian komponen karena perawatan (Cost Preventive/Cp)

Perhitungan biaya ini meliputi biaya tenaga kerja operator, biaya tenaga kerja mekanik dan harga komponen yang dihasilkan dari pemeliharaan terjadwal. Perhitungan biaya penggantian pada komponen mesin *gearbox* dan *V-Belt Conveyor* karena perawatan sebagai berikut :

$$Cp = [(\text{Biaya operator} + \text{Biaya mekanik}) \times \text{MTTR}] + \text{Harga komponen}$$

$$CP \text{ Gearbox} = [(\text{Rp } 22.222 + \text{Rp } 55.556) \times (21,115/60)] + \text{Rp } 1.500.000 = \text{Rp } 1.527.371$$

$$CP \text{ V-Belt Conveyor} = [(\text{Rp } 22.222 + \text{Rp } 55.556) \times (27,191/60)] + \text{Rp } 800.000 = \text{Rp } 835.248$$

3. Biaya penggantian komponen karena kerusakan (Cost Failure/Cf)

Perhitungan biaya penggantian ini meliputi biaya operator, biaya mekanik, biaya kehilangan produksi dan harga komponen dimana biaya total tersebut adalah kerugian karena kerusakan komponen secara tiba-tiba. Perhitungan biaya penggantian pada komponen mesin *gearbox* dan *V-Belt Conveyor* karena kerusakan yakni :

$$Cf = [(\text{Biaya operator} + \text{Biaya mekanik} + \text{Biaya kehilangan produksi per hari}) \times \text{MTTR}] + \text{Harga komponen}$$

$$Cf \text{ gearbox} = [(\text{Rp } 22.222 + \text{Rp } 55.556 + \text{Rp } 5.000.000) \times (21,115/60)] + \text{Rp } 1.500.000 = \text{Rp } 3.286.955$$

$$\begin{aligned} Cf \text{ V-Belt Conveyor} &= [(\text{Rp } 22.222 + \text{Rp } 55.556 + \text{Rp } 5.000.000) \times (27,191/60)] + \text{Rp } 800.000 \\ &= \text{Rp } 3.101.164 \end{aligned}$$

4. Total biaya perawatan dengan menggunakan metode Age Replacement

Perhitungan total biaya perawatan didasarkan pada frekuensi penggantian yang optimal. Untuk menghitung TC persatuan waktu atau TC (tp) di mesin pengayakan batu bara sebagai berikut :

$$TC(tp) = \frac{(CP \times R(tp)) + (Cf \times |1 - R(tp)|)}{(tp \times R(tp)) + (M(tp) \times |1 - R(tp)|)}$$

$$TC(tp) \text{ Gearbox} = \frac{(\text{Rp } 1.527.371 \times 0,6125) + (\text{Rp } 3.286.955 \times 0,3874)}{(14 \times 0,6125) + (46,19 \times 0,3874)} = \text{Rp } 83.452$$

$$TC(tp) \text{ V Belt Conveyor} = \frac{(\text{Rp } 836.248 \times 0,4684) + (\text{Rp } 3.101.164 \times 0,5315)}{(16 \times 0,4684) + (36,189 \times 0,5315)} = \text{Rp } 76.303$$

Selanjutnya dapat dihitung biaya perawatan total pada mesin pengayakan batu bara sebagai berikut :

$$TC^* = ((312 \text{ hari} \times 24 \text{ jam} \times 60 \text{ menit}) / tp) \times \text{MTTR} \times \text{TC} + \text{Harga komponen}$$

$$TC^* \text{ Gearbox} = ((449.280) / 14) \times 21,115 \times \text{Rp } 83.452 + \text{Rp } 1.500.000 = \text{Rp } 56.549.187$$

$$TC^* \text{ V-Belt Conveyor} = ((449.280) / 16) \times 27,191 \times \text{Rp } 76.303 + \text{Rp } 800.000 = \text{Rp } 58.260.118$$

4. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil penelitian, data historis kerusakan dan *downtime* pada mesin pengayakan batu bara yang digunakan dalam penelitian ini selama periode April 2021 hingga Juli 2022 menunjukkan tingginya frekuensi terjadinya kerusakan pada beberapa komponen mesin yang disebabkan oleh jadwal perawatan yang tidak terencana. Hasil penelitian ini dapat ditarik 4 poin kesimpulan yakni yang pertama adalah pada penelitian difokuskan pada analisis 2 jenis komponen yang kritis yakni komponen *gearbox* dan *V-Belt Conveyor* karena memiliki jumlah *downtime* terbesar. Poin kedua yakni hasil uji distribusi pada komponen kritis di mesin pengayakan batu bara terlihat bahwa nilai Anderson terkecil untuk 2 jenis distribusi sesuai dengan distribusi Weibull.

Poin ketiga adalah interval waktu penggantian yang optimal untuk komponen *gearbox* pada interval ke 14 hari sedangkan pada komponen *V-Belt Conveyor* yang paling optimal untuk melakukan penggantian pada interval ke 16 hari. Pada poin keempat adalah untuk penggantian komponen *gearbox* membutuhkan total biaya penggantian karena kerusakan sebesar Rp. 3.286.955, untuk Perhitungan total biaya perawatan (TC*) sebesar Rp. 56.549.187. Sedangkan untuk penggantian komponen *V-Belt Conveyor* membutuhkan total biaya penggantian karena kerusakan sebesar Rp. 3.101.104, untuk perhitungan total biaya perawatan (TC*) sebesar Rp. 58.260.118.

Adapun saran untuk penggantian komponen mesin pengayakan batu bara di PT.X agar melaksanakan perbaikan prioritas untuk penentuan interval waktu penggantian komponen mesin agar tidak menimbulkan kerugian dalam jumlah besar terhadap operasional perusahaan. Sedangkan untuk penelitian lanjutan diharapkan dapat mengaplikasikan metode lainnya sehingga analisis penentuan interval waktu penggantian komponen mesin pengayakan batu bara di PT.X semakin lebih baik dan berkembang.

5. Referensi

- [1] A. Andriani and I. Romli, "Preventive maintenance pada mesin die casting dengan age replacement model untuk peningkatan reliabilitas mesin," *Oper. Excell. J. Appl. Ind. Eng.*, vol. 12, no. 1, pp. 1–12, 2020, doi: 10.22441/oe.2020.v12.i1.001.
- [2] E. F. Leksono and M. T. Safirin, "Usulan Penentuan Interval Waktu Penggantian Komponen Dan Kebijakan Persediaan Komponen Dengan Menggunakan Metode Age Replacement Dan Metode Economic Order Quantity (EOQ) Di Pt. Xyz," *Juminten*, vol. 2, no. 2, pp. 72–83, 2021, doi: 10.33005/juminten.v2i2.230.
- [3] N. N. Hidayanti and S. S. Dahda, "Perencanaan Perawatan Mesin Pulverizer Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM)," *J. Teknovasi*, vol. 08, no. 03, pp. 38–50, 2021.
- [4] M. I. Haq and D. Riandadar, "Penentuan Penjadwalan Preventive Maintenance Pada Komponen Mesin Callender Di PT. Karet Ngagel Surabaya Wira Jatim," *JPTM*, vol. 09, no. 01, pp. 8–16, 2019, [Online]. Available: <https://jurnalmahasiswa.unesa.ac.id/index.php/jurnal-pendidikan-teknik-mesin/article/view/29914>.
- [5] Y. N. Rohmat, Rachmatullah, D. Canra, and Suliono, "Analisis Perancangan Jadwal Preventive Dan Predictive Maintenance Pada Mesin Kapal Di Daerah Lembangan Indramayu," in *Prosiding Seminar Nasional Teknologi dan Rekayasa (SENTRA)*, 2017, pp. 1–7.
- [6] Y. Setiawannie, N. Marikena, and S. Sania Putri, "Penentuan Umur Dump Truck Dengan Metode Optimal Replacement Interval Di Cv. X," *JiTEKH*, vol. 9, no. 2, pp. 65–73, 2021, doi: 10.35447/jitekh.v9i2.422.
- [7] S. G. Tama and Iskandar, "Penentuan Interval Waktu Optimal Penggantian Komponen Wire Screen Pada Mesin Wire Part Dengan Metode Age Replacement Di Pt. Mount Dream Indonesia," *J. Mhs. Univ. Negeri Surabaya*, vol. 5, no. 2, pp. 175–182, 2017.
- [8] F. Ma'ruf and S. S. Dahda, "Penentuan Interval Pergantian Komponen Mesin Bubut Menggunakan Metode Age Replacment," *J. Teknovasi*, vol. 08, no. 1, pp. 70–82, 2021.
- [9] F. ajar A. Syah and M. Zakinura, "Analisa Perencanaan Waktu Preventif Maintenance pada Mesin Stamping G1-110 di PT. X," in *Seminar Nasional Teknik Mesin 2021*, 2019, pp. 837–841, [Online]. Available: <http://prosiding.pnj.ac.id/index.php/sntm/article/view/2118>.
- [10] E. Prasetyaningsih, I. Ruchiyat, and C. R. Muhammad, "Penentuan Interval Waktu Perawatan Mesin Blowing dan Mesin Filling Menggunakan Teori Reliability dan Model Age Replacement (Studi Kasus pada PT. XYZ)," *J. Sist. Tek. Ind.*, vol. 22, no. 2, pp. 1–12, 2020, doi: 10.32734/jsti.v22i2.3762.
- [11] I. Z. Permatasari and D. Wulandari, "Perencanaan Perawatan Sebagai Optimalisasi Jadwal Penggantian Doctor Blade Pada Mesin Printing Rotogravure PT Z," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 8,

- no. 2, pp. 67–72, 2020.
- [12] 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.
- [13] 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, pp. 325–330, 2021, doi: 10.24912/jmstkik.v5i2.9078.
- [14] I. Zein, D. Mulyati, and I. Saputra, “Perencanaan Perawatan Mesin Kompresor Pada PT. Es Muda Perkasa Dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM),” *J. Serambi Eng.*, vol. 4, no. 1, pp. 383–391, 2019, doi: 10.32672/jse.v4i1.848.
- [15] M. Firdaus and D. Wulandari, “Preventive Maintenance Mesin Printing Rotogravure Pada Komponen Press Roll Dengan Metode Age Replacement Sebagai Pengoptimalan Biaya Downtime Di PT. X,” *JTM - Jurnal Tek. Mesin*, vol. 09, no. 02, pp. 63–68, 2021.
- [16] I. Sukendar, A. Syakhroni, and M. R. Prawira, “Analysis of the Age Replacement Method to Reduce Tool Downtime,” *Int. J. Educ. Sci. Technol. Eng.*, vol. 3, no. 1, pp. 1–12, 2020, doi: 10.36079/lamintang.ijeste-0301.41.