

USULAN PENJADWALAN *PREVENTIVE MAINTENANCE* PADA MESIN *FILLER* DENGAN MENGGUNAKAN METODE *AGE REPLACEMENT* DI PT XYZ

Nadilla Tri Putri¹⁾, Fifi Herni Mustofa²⁾

^{1,2)}Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri,
Institut Teknologi Nasional Bandung

Corresponding author : nadillaputri004@gmail.com

ABSTRAK

PT XYZ merupakan sebuah perusahaan yang bergerak di bidang industri minuman kemasan. Penggunaan mesin secara terus menerus dapat menyebabkan produktivitas pada mesin tersebut menurun sehingga diperlukan perawatan dengan baik dan terencana untuk menjaga kualitas dan produktivitas dari mesin serta meminimalkan kerusakan pada mesin. Salah satu hambatan yang dialami oleh perusahaan yaitu sering terhentinya proses produksi karena adanya pemeriksaan dan perbaikan secara mendadak. Sebaiknya perusahaan memiliki penjadwalan *preventive maintenance* yang teratur khusus untuk mesin *filler*-nya agar mesin *filler*-nya tetap dalam kondisi stabil. Perawatan mesin yang baik akan memberikan keuntungan terhadap perusahaan, karena biaya produksi dapat diturunkan. Metode yang digunakan untuk menentukan kebijakan penjadwalan perawatan yang optimal dengan menggunakan *Age Replacement*. Metode *Age Replacement* dapat diperoleh interval penjadwalan untuk perawatan yang tepat bagi perusahaan.

Kata kunci: *Perawatan Pencegahan, Proses Produksi, Mesin Filler, Penjadwalan, Age Replacement*

1. PENDAHULUAN

Suatu mesin dapat dikatakan memiliki tingkat produktivitas yang baik apabila mesin tersebut dapat beroperasi dengan normal dalam suatu proses produksi sehingga tujuan yang ingin dicapai dapat terpenuhi (Riandadari, D. dan Haq, M. I., 2019). Penggunaan mesin secara terus menerus dapat menyebabkan produktivitas pada mesin tersebut menurun sehingga diperlukan perawatan dengan baik dan terencana untuk menjaga kualitas dan produktivitas dari mesin serta meminimalkan kerusakan pada mesin.

PT XYZ merupakan sebuah perusahaan yang bergerak di bidang industri minuman kemasan. PT XYZ sering mengalami gangguan akibat komponen yang ada di mesin tersebut mengalami kerusakan sehingga diperlukan tindakan penggantian komponen yang rusak. Hal tersebut dapat mempengaruhi produk yang diproses saat dilakukannya produksi, sebagai bentuk pencegahan kerugian tersebut maka diperlukan perawatan pencegahan dengan adanya penentuan waktu yang optimal untuk penjadwalan *preventive maintenance* pada mesin *filler*. Terdapat dua model penggantian komponen yaitu *block replacment* (penentuan jadwal optimal penggantian berdasarkan minimasi *downtime*) dan *age replacement*.

Pada penelitian yang digunakan di dalam penelitian ini yaitu menggunakan metode *age replacement*. Menurut Jardine (1973) metode *age replacement* merupakan suatu model penggantian interval waktu pada suatu komponen dimana interval waktu penggantian dilakukan dengan cara memperhatikan umur pemakaian dari suatu komponen tersebut, sehingga dapat menghandiri terjadinya penggantian suatu komponen yang baru dipasang akan diganti dalam waktu yang singkat. Maka dari itu waktu kerja suatu mesin perlu dioptimalkan dengan cara penjadwalan *maintenance* yang baik agar produk yang dihasilkan dari proses produksi lebih maksimal.

Tujuan penelitian adalah dapat menentukan jadwal optimal untuk melakukan penggantian komponen pada mesin dengan biaya pemeliharaan yang lebih rendah sesuai dengan metode *age replacement*. Hasil dari penjadwalan ini kemudian akan dihitung biayanya serta dibandingkan dengan kebijakan perusahaan sebelum adanya penjadwalan.

2. METODE

2.1 Penentuan Komponen Kritis

Komponen kritis merupakan kondisi dimana suatu komponen yang mengalami kerusakan akan mempengaruhi keandalan operasional suatu sistem. Menurut (Susanto, 2017) penentuan komponen kritis ini dapat dilakukan dengan melakukan pendekatan *critical analysis* dengan menggunakan empat kriteria yaitu:

- Frekuensi kerusakan tinggi
- Dampak kerusakan pada sistem
- Pembongkaran dan pemasangannya sulit
- Harga komponen mahal

2.2 Penentuan Time To Failure

Perhitungan TTF dilakukan untuk mengetahui selisih waktu ketika kerusakan pertama yang telah selesai diperbaiki dengan waktu kerusakan berikutnya. Data tersebut diperoleh dari perusahaan yang menunjukkan jenis dan waktu kerusakan sehingga lebih mudah dalam melakukan pengolahan data selanjutnya.

Setelah diperoleh data interval waktu kerusakan dari masing - masing komponen kritis dari mesin yang dibahas maka langkah berikutnya yaitu data interval waktu kerusakan tersebut diidentifikasi apakah mengikuti suatu pola data tertentudengan mencari nilai *index of fit (r)* terbesar. Rumus umum yang terdapat dalam metode *cumulative failure distribution* adalah:

$$F(ti) = \frac{i-0,3}{n+0,4} \quad (1)$$

Dimana:

I = data waktu ke- t

n = jumlah kerusakan

Dalam menentukan nilai *index of fit (r)* yang akan digunakan, nilai r dihitung berdasarkan distribusi – distribusi yang digunakan sebagai berikut:

1. Distribusi Weibull

$$r_{weibull} = \frac{n \sum_{i=1}^n Xi.Yi - (\sum_{i=1}^n Xi)(\sum_{i=1}^n Yi)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n Xi^2 - (\sum_{i=1}^n Xi)^2] \cdot [n \sum_{i=1}^n Yi^2 - (\sum_{i=1}^n Yi)^2]}} \quad (2)$$

Keterangan:

$$X_i = \ln(t_i) \quad (3)$$

$$Y_i = \ln \cdot \ln \frac{1}{1-F(t_i)} \quad (4)$$

2. Distribusi Eksponensial

$$r_{\text{eksponensial}} = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i \cdot Y_i - (\sum_{i=1}^n X_i)(\sum_{i=1}^n Y_i)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2] \cdot [n \sum_{i=1}^n Y_i^2 - (\sum_{i=1}^n Y_i)^2]}} \quad (5)$$

Keterangan:

$$X_i = t_i \quad (6)$$

$$Y_i = \ln \frac{1}{1-F(t_i)} \quad (7)$$

3. Distribusi Normal

$$r_{\text{normal}} = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i \cdot Y_i - (\sum_{i=1}^n X_i)(\sum_{i=1}^n Y_i)}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2] \cdot [\sum_{i=1}^n Y_i^2 - (\sum_{i=1}^n Y_i)^2]}} \quad (8)$$

Keterangan:

$$X_i = t_i \quad (9)$$

$$Y_i = Z_i = \Phi^{-1}(F(t_i)) \quad (10)$$

Nilai $Z_i = \Phi^{-1}$

($F(t_i)$) didapat dari tabel Distribusi Normal Kumulatif Z

4. Distribusi Lognormal

$$r_{\text{lognormal}} = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i \cdot Y_i - (\sum_{i=1}^n X_i)(\sum_{i=1}^n Y_i)}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2] \cdot [\sum_{i=1}^n Y_i^2 - (\sum_{i=1}^n Y_i)^2]}} \quad (11)$$

Keterangan:

$$X_i = \ln t_i \quad (12)$$

$$Y_i = Z_i = \Phi^{-1}(F(t_i)) \quad (13)$$

Nilai $Z_i = \Phi^{-1}$

($F(t_i)$) didapat dari tabel Distribusi Normal Kumulatif Z

Berdasarkan nilai index of fit yang terbesar, setelah didapat pola distribusi yang sesuai maka dilakukan perhitungan parameter-parameter distribusi untuk menghitung *Mean Time to Failure* (MTTF).

2.3 Perhitungan Parameter Masing-Masing Distribusi Terpilih

Setiap parameter yang digunakan itu berbeda - beda setiap jenis distribusinya. adapun perhitungan parameter distribusi terpilih bertujuan untuk mengetahui laju kerusakan komponen dan pendukung untuk perhitungan fungsi distribusi. Persamaan parameter untuk masing-masing distribusinya dapat dilihat sebagai berikut:

1. Distribusi *Weibull* menghitung nilai konstanta a dan b dapat diperoleh dengan menggunakan metode *Least Square*. rumus untuk persamaannya dapat dilihat sebagai berikut:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{b \sum_{i=1}^n X_i} \quad (14)$$

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i \cdot Y_i - (\sum_{i=1}^n X_i)(\sum_{i=1}^n Y_i)}{[n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2]} \quad (15)$$

Parameter adalah β dan σ

$$\beta = \frac{1}{b} \quad (16)$$

$$\sigma = e^a \quad (17)$$

2. Distribusi Eksponensial

Parameter adalah λ

$$\lambda = \frac{n}{T} \quad (18)$$

Keterangan:

r = n = jumlah data kerusakan

T = total waktu kerusakan

3. Distribusi Lognormal

Parameter adalah μ dan σ

$$\mu = \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n \ln t_i}{n} \quad (19)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\ln t_i - \mu)^2}{n}} \quad (20)$$

4. Distribusi Normal

Parameter adalah μ dan σ

$$\mu = \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} \quad (21)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \mu)^2}{N}} \quad (22)$$

2.4 Perhitungan Biaya Penggantian Pencegahan Komponen (*Cost of Preventive*)

Biaya penggantian pencegahan komponen atau *Cost of Preventive* (C_p) merupakan perhitungan biaya yang dikeluarkan oleh untuk satu kali penggantian pencegahan. Adapun rumus untuk perhitungan *Cost of Preventive* (C_p) sebagai berikut:

$$\text{Biaya Pembelian Komponen} = \text{Harga Komponen} \times \text{Jumlah Komponen} \quad (23)$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya Teknisi} &= \text{Waktu Penggantian Komponen (Hari)} \\ &\times \text{Biaya Tenaga kerja} \times \text{Jumlah Teknisi} \end{aligned} \quad (24)$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya Operator Menganggur} &= \text{Jumlah Operator} \times \text{Waktu Penggantian Komponen} \\ &(\text{Hari}) \times \text{Biaya Operator/Jam} \end{aligned} \quad (25)$$

$$\begin{aligned} \text{Keuntungan Yang Hilang} &= \text{Keuntungan/Hari} \times \text{Waktu Penggantian} \\ &\text{Komponen (Hari)} \end{aligned} \quad (26)$$

$$\begin{aligned} \text{Cost of Preventive (C)} &= \text{Biaya Pembelian Komponen} + \\ &\text{Biaya Teknisi} + \text{Biaya Operator Menganggur} + \\ &\text{Keuntungan Yang Akan Hilang} \end{aligned} \quad (27)$$

2.5 Perhitungan Biaya Penggantian Akibat Kerusakan Komponen (*Cost of Failure*)

Biaya penggantian kerusakan komponen atau *Cost of Failure* (C_f) merupakan perhitungan biaya yang dikeluarkan oleh perusahaan untuk satu kali penggantian komponen karena kerusakan. Perhitungan *Cost of Failure* (C_f) ini nantinya akan digunakan untuk menghitung nilai interval pencegahan. Adapun rumus untuk perhitungan *Cost of Failure* (C_f) sebagai berikut:

$$\text{Biaya Pembelian Komponen} = \text{Harga Komponen} \times \text{Jumlah Komponen} \quad (28)$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya Teknisi} &= \text{Waktu Penggantian Komponen (Hari)} \\ &\times \text{Biaya Tenaga kerja} \times \text{Jumlah Teknisi} \end{aligned} \quad (29)$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya Operator Menganggur} &= \text{Jumlah Operator} \times \text{Waktu Penggantian} \\ &\text{Komponen (Hari)} \times \text{Biaya Operator/Jam} \end{aligned}$$

(30)

$$\begin{aligned} \text{Keuntungan Yang Hilang} &= \text{Keuntungan/Hari} \times \text{Waktu} \\ &\text{Penggantian Komponen (Hari)} \end{aligned}$$

(31)

$$\begin{aligned} \text{Cost of Failure } (C_f) &= \text{Biaya Pembelian Komponen} + \text{Biaya} \\ &\quad \text{Teknisi} + \text{Biaya Operator Menganggur} \\ &\quad + \text{Keuntungan Yang Akan Hilang} \end{aligned} \quad (32)$$

2.6 Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan Komponen

Apabila sudah didapatkan nilai MTTF untuk setiap komponen, maka selanjutnya akan dilakukan perhitungan untuk interval penggantian pencegahan komponen. Perhitungan ini didasari pada data MTTF beserta nilai-nilai parameter yang sudah diperoleh. Dalam model *Age Replacement* penggantian komponen tergantung kepada umur komponen yang dapat menghasilkan ekspektasi total biaya pencegahan dengan nilai yang paling terkecil. Berikut merupakan rumus untuk menghitung interval penggantian pencegahan komponen.

$$C_{(tp)} = \frac{\text{total ekspektasi biaya penggantian per siklus}}{\text{ekspektasi panjang waktu siklus}}$$

Rumus total ekspektasi *downtime* per siklus dan ekspektasi panjang waktu siklus adalah:

Total ekspektasi biaya penggantian per siklus:

$$C_p \cdot R_{(tp)} + C_f \cdot (1 - R_{(tp)}) \quad (33)$$

Ekspektasi panjang waktu siklus:

$$(t_p + T_p) \cdot R_{(tp)} + M_{(tp)} + T_f \cdot (1 - R_{(tp)}) \quad (34)$$

Maka diperoleh total *downtime* per siklus $C_{(tp)}$ dengan persamaan adalah:

$$C_{(tp)} = \frac{C_p \cdot R_{(tp)} + C_f \cdot (1 - R_{(tp)})}{(t_p + T_p) \cdot R_{(tp)} + M_{(tp)} + T_f \cdot (1 - R_{(tp)})} \quad (35)$$

Keterangan:

$C(t_p)$ = Total ongkos persatuan waktu yang diperlukan jika penggantian pencegahan dilakukan dalam interval (t_p) .

$M(t_p)$ = Nilai rata-rata waktu terjadinya kerusakan.

$R_{(tp)}$ = Probabilitas terjadinya penggantian pencegahan pada saat (t_p) .

$F(t_p)$ = Fungsi Distribusi Kumulatif.

C_p = *Cost of Preventive*.

C_f = *Cost of Failure*.

TP = Interval Waktu untuk penggantian pencegahan.

t_p = Fungsi kepadatan peluang dari waktu kegagalan komponen.

$$TP = \frac{\text{Waktu Penggantian Pencegahan (jam)}}{\text{Jam Kerja}} \quad (36)$$

$$M(t_p) = \int_0^{t_p} t \cdot f(t) dt \quad (37)$$

3. HASIL DAN ANALISIS

3.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data berisikan data yang dibutuhkan untuk pengolahan data diantaranya data kerusakan komponen, Data Waktu Penggantian Komponen Sebelum Terjadi Kerusakan Dan Setelah Terjadi Kerusakan, Data Biaya Penggantian Komponen untuk Pencegahan dan Kerusakan.

3.1.1 Data Kerusakan Komponen

Tercatat dalam hampir 2 tahun terakhir (2021-2022) mesin *filler* memiliki frekuensi kerusakan yang paling tinggi dibandingkan dengan mesin lainnya yang mengakibatkan terjadinya *breakdown* pada proses produksi sehingga sehingga mesin *filler* ini merupakan mesin kritis. Kerusakan yang terjadi pada mesin *filler* sebagian besar disebabkan oleh komponen dalam mesin yang tidak berfungsi dengan baik.

Tabel 1. Data Kerusakan Komponen Mesin Filler (2021-2022)

Bulan	Tanggal Kerusakan	Komponen
Januari	20/1/2021	Gasket
Maret	22/3/2021	Clamp
April	8/4/2021	O-Ring
Mei	19/5/2021	Shaft/Axle
Juli	15/7/2021	Clamp
	29/7/2021	Pressure Piece
September	8/9/2021	Gasket
Oktober	7/10/2021	O-Ring
	29/10/2021	Shaft/Axle
Februari	6/2/2022	O-Ring
	12/2/2022	Ring
Maret	13/03/2022	Shaft/Axle
April	6/4/2022	Clamp
	13/4/2022	Wiper Ring
Mei	15/5/2022	Gasket
April	6/7/2022	Clamp
September	15/9/2022	O-Ring
Oktober	28/10/2022	Gasket
November	11/16/2022	Shaft/Axle
Desember	9/12/2022	Clamp

3.1.2 Data Waktu Penggantian Komponen Sebelum Terjadi Kerusakan Dan Setelah Terjadi Kerusakan

Waktu penggantian komponen yang sudah mengalami kerusakan akan jauh lebih lama dibandingkan dengan waktu penggantian pencegahan sebelum mengalami kerusakan. Hal tersebut dapat terjadi karena mesin tidak bisa dipaksakan untuk terus beroperasi sehingga perlu waktu menunggu untuk teknisi datang, dilakukan pengecekan dan menunggu barang komponen yang baru datang.

Tabel 2. Data Waktu Penggantian Komponen Sebelum Terjadi Kerusakan

Nama Komponen	Total Waktu Pengantian	Total Waktu Pengantian
<i>Ring</i>	3	0.375
<i>Clamp</i>	2.5	0.313
<i>Gasket</i>	3	0.375
<i>Wiper Ring</i>	4	0.500
<i>Shaft/Axle</i>	3	0.375
<i>O-Ring</i>	1	0.125
<i>Pressure Piece</i>	2	0.250

Tabel 3. Data Waktu Penggantian Komponen Sesudah Terjadi Kerusakan

Nama Komponen	Waktu Perbaikan (Jam)	Waktu Menunggu	Total Waktu Pengantian	Total Waktu
<i>Ring</i>	3	4	7	0.875
<i>Clamp</i>	2.5	3	5.5	0.688
<i>Gasket</i>	3	4	7	0.875
<i>Wiper Ring</i>	4	5	9	1.125
<i>Shaft/Axle</i>	3	4	7	0.875
<i>O-Ring</i>	1	3	4	0.500
<i>Pressure Piece</i>	2	3	5	0.625

3.1.3 Data Biaya Penggantian Komponen untuk Pencegahan dan Kerusakan

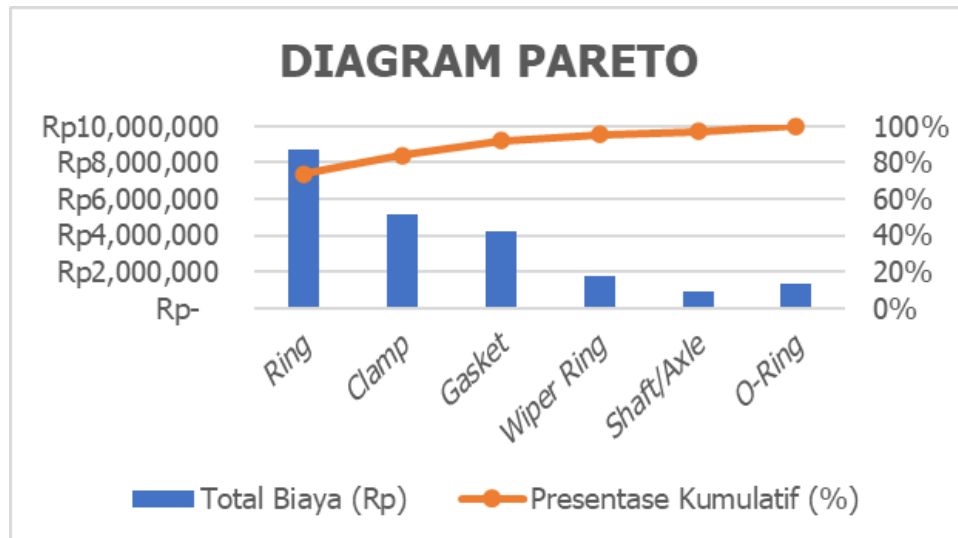
Pada perhitungan menentukan interval kerusakan optimal terdapat dua jenis biaya yang perlu diperhitungkan, diantaranya yaitu biaya penggantian pencegahan kerusakan komponen (*preventive cost*) dan biaya penggantian akibat kerusakan komponen (*failure cost*). Biaya yang terlibat dalam perhitungan *preventive cost* dan *failure cost* diantaranya adalah harga komponen, biaya teknisi beserta transportasi teknisi, biaya operator menganggur dan keuntungan yang hilang.

3.2 Pengolahan Data

Pengolahan data berisi penentuan komponen kritis menggunakan diagram pareto, perhitungan interval waktu kerusakan (TTF) komponen kritis, identifikasi distribusi data interval waktu kerusakan komponen kritis, perhitungan parameter masing - masing distribusi terpilih, perhitungan *Mean Time to Failure* (MTTF), perhitungan biaya penggantian pencegahan komponen (*Cost of Preventive*) dan (*Cost Of Failure*), perhitungan interval waktu penggantian pencegahan komponen menggunakan metode *age replacement*.

3.2.1 Penentuan Komponen Kritis Menggunakan Diagram Pareto

Komponen kritis merupakan komponen yang secara signifikan dapat mempengaruhi efek keselamatan, pelaksanaan, penjadwalan atau biaya. Dalam pemilihan komponen kritis pada mesin *filler*, digunakan metode analisis pareto.



Gambar 3. Diagram Pareto Komponen Kritis

Dapat disimpulkan komponen yang termasuk dalam 80% dari persentase kumulatif adalah komponen *ring*, *clamp* dan *gasket*. Sehingga komponen - komponen tersebut merupakan komponen kritis yang akan ditentukan interval waktu perawatan pencegahannya.

3.2.2 Perhitungan Interval Waktu Kerusakan (TTF) Komponen Kritis

Interval waktu kerusakan komponen dapat diperoleh dari data hari terjadinya kerusakan sampai komponen mesin tersebut mengalami kerusakan kembali.

Tabel 4. Interval Waktu Kerusakan Komponen *Ring*

Ring		
No	Tanggal	Interval Waktu Kerusakan (Hari)
1	20/1/2021	*
2	8/9/2021	198
3	15/5/2022	214
4	28/10/2022	142

Tabel 5. Interval Waktu Kerusakan Komponen *Clamp*

Clamp		
No	Tanggal	Interval Waktu Kerusakan (Hari)
1	8/4/2021	*
2	7/10/2021	156
3	6/2/2022	104
4	15/9/2022	189

Tabel 6. Interval Waktu Kerusakan Komponen Gasket

Gasket		
No	Tanggal	Interval Waktu Kerusakan (Hari)
1	22/3/2021	*
2	15/7/2021	98
3	6/4/2022	227
4	6/7/2022	78
5	9/12/2022	134

3.2.3 Identifikasi Distribusi Data Interval Waktu Kerusakan Komponen Kritis

Setelah didapatkan data interval waktu kerusakan antar komponen kritis, maka langkah selanjutnya yang dapat dilakukan yaitu identifikasi distribusi data interval waktu kerusakan dalam menentukan pola distribusi dengan menggunakan perhitungan *index of fit* (r) untuk melihat pola data tersebut mengikuti pola data distribusi tertentu. Pola distribusi dengan hasil nilai r terbesar atau mendekati 1 artinya itulah pola data distribusi yang terpilih. Berikut merupakan perhitungan *index of fit* (r) untuk masing-masing distribusi pada komponen *Ring*.

Tabel 7. Perhitungan *Index of Fit* (r) Distribusi Weibull Pada Komponen *Ring*

Ring								
i	$X_i = \ln(t_i)$	$F(t_i)$	$1/(1-F(t_i))$	$(1/(1-F(t_i)))^{1/2}$	Y_i	$X_i.Y_i$	X_i^2	Y_i^2
1	4.9558	0.2059	1.2593	0.2305	-1.4674	-7.2722	24.5602	2.1533
2	5.2883	0.5000	2.0000	0.6931	-0.3665	-1.9382	27.9658	0.1343
3	5.3660	0.7941	4.8571	1.5805	0.4577	2.4561	28.7937	0.2095
Total	15.6101	1.5000	8.1164	2.5041	-1.3762	-6.7543	81.3197	2.4971
Sxy	1.2196							
Sxx	0.2848							
Syy	5.5974							
r	0.9660							

Tabel 8. Perhitungan *Index of Fit* (r) Distribusi Eksponensial Pada Komponen *Ring*

Ring							
i	$X_i = t_i$	$F(t_i)$	$1/(1-F(t_i))$	Y_i	$X_i.Y_i$	X_i^2	Y_i^2
1	142	0.2059	1.2593	0.2305	32.7344	20164	0.0531
2	198	0.5000	2.0000	0.6931	137.2431	39204	0.4805
3	214	0.7941	4.8571	1.5805	338.2164	45796	2.4978
Total	554	1.5000	8.1164	2.5041	508.1939	105164	3.0314
Sxy	137.2985						
Sxx	8576						
Syy	2.8236						
r	0.8823						

Tabel 9. Perhitungan *Index of Fit (r)* Distribusi Lognormal Pada Komponen *Ring*

<i>Ring</i>						
i	$X_i = \ln(t_i)$	$F(t_i)$	$Y_i = Z_i$	$X_i.Y_i$	X_i^2	Y_i^2
1	4.9558	0.2059	-0.8208	-4.0677	24.5602	0.6737
2	5.2883	0.5000	0.0000	0.0000	27.9658	0.0000
3	5.3660	0.7941	0.8208	4.4044	28.7937	0.6737
Total	15.6101	1.5000	0.0000	0.3366	81.3197	1.3474
S_{xy}	1.0099					
S_{xx}	0.2848					
S_{yy}	4.0422					
r	0.9413					

Tabel 10. Perhitungan *Index of Fit (r)* Distribusi Normal Pada Komponen *Ring*

<i>Ring</i>						
i	$X_i = t_i$	$F(t_i)$	$Y_i = Z_i$	$X_i.Y_i$	X_i^2	Y_i^2
1	142	0.2059	-0.8208	-116.5525	20164	0.6737
2	198	0.5000	0.0000	0.0000	39204	0.0000
3	214	0.7941	0.8208	175.6495	45796	0.6737
Total	554	1.5000	0.0000	59.0970	105164	1.3474
S_{xy}	177.2911					
S_{xx}	8576					
S_{yy}	4.0422					
r	0.9522					

3.2.4 Perhitungan Parameter Masing - Masing Distribusi Terpilih

Setelah dilakukan uji kesesuaian dan pola data kerusakan komponen kritis, diperoleh hasil bahwa komponen yaitu *ring* dan *clamp* mengikuti pola distribusi *Weibull* dengan parameter α (parameter skala) dan β (parameter bentuk). Berikut merupakan perhitungan parameter untuk komponen Ring dengan mengikuti pola distribusi *weibull*.

Tabel 11. Perhitungan Parameter Berdistribusi Weibull Pada Komponen *Ring*

Ring													
i	ti	Yi = ln(ti)	F (ti)	R(ti)=1- F(ti)	ln(1/R(ti))	Xi	Xi.Yi	Xi^2	Yi^2	b	a	Alpha	beta
1	142	4.956	0.206	0.794	0.231	-1.467	-7.272	2.153	24.560	0.218	5.303	201.001	4.589
2	198	5.288	0.500	0.500	0.693	-0.367	-1.938	0.134	27.966				
3	214	5.366	0.794	0.206	1.580	0.458	2.456	0.209	28.794				
Total	554	15.610	1.500	1.500	2.504	-1.376	-6.754	2.497	81.320				

3.2.5 Perhitungan Mean Time to Failure (MTTF)

Setelah melakukan perhitungan parameter dari masing - masing distribusi terpilih, selanjutnya dapat dilakukan perhitungan *Mean Time to Failure* (MTTF) dari masing - masing distribusi untuk data interval waktu kerusakan setiap komponen.

Tabel 12. Perhitungan MTTF Berdistribusi Weibull Pada Komponen *Ring*

Ring		
Dist Weibull		
Alpha	201.001	
Beta	4.589	
1+(1/Beta)	1.22	
Tabel gamma	0.903	
MTTF	181.504	Hari
	182	Hari

Tabel 13. Perhitungan MTTF Berdistribusi Weibull Pada Komponen *Clamp*

Clamp		
Dist Weibull		
Alpha	167.747	
Beta	3.190	
1+(1/Beta)	1.31	
Tabel gamma	0,896	
MTTF	150.301	Hari
	151	Hari

Tabel 14. Perhitungan MTTF Berdistribusi Lognormal Pada Komponen Gasket

Gasket		
Dist Lognormal		
μ	4.816	
σ	0.103	
MTTF	134,25	Hari
	135	Hari

3.2.6 Perhitungan Biaya Penggantian Pencegahan Komponen (*Cost of Preventive*) Dan (*Cost Of Failure*)

Perhitungan *Cost Of Preventive* (C_p) kan biaya yang perlu dikeluarkan oleh perusahaan pada saat proses satu kali penggantian pencegahan. Perhitungan *Cost of Failure* (C_f) merupakan biaya yang perlu dikeluarkan oleh perusahaan pada saat proses penggantian komponen akibat kerusakan. Berikut merupakan perhitungan *Cost of Preventive* (C_p) dan *Cost of Failure* (C_f) untuk masing-masing komponen kritis.

Tabel 15. Perhitungan *Cost of Preventive* (C_p) dan *Cost of Failure* (C_f)
Komponen Kritis

Komponen Kritis	CP	CF
<i>Ring</i>	Rp96,264,632	Rp170,784,863
<i>Clamp</i>	Rp47,317,374	Rp103,432,006
Gasket	Rp59,064,632	Rp133,584,863

3.2.7 Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan Komponen Menggunakan Metode *Age Replacement*

Perhitungan interval waktu untuk penggantian pencegahan komponen dapat dilakukan berdasarkan perhitungan fungsi-fungsi distribusi terpilih dan penentuan interval

penggantian komponen yang optimal dipilih berdasarkan nilai ekspektasi total biaya penggantian persatuan waktu $C(t_p)$ yang terkecil.

3.2.8 Analisis Pemilihan Komponen Kritis

Cara menentukan komponen kritis dapat dilakukan dengan menggunakan metode analisis pareto. Dalam perhitungan diagram pareto menggunakan persentase kumulatif dari total biaya kerugian masing-masing komponen. Komponen kritis yang terpilih adalah komponen yang masuk dalam persentase kumulatif mencapai 80%, karena 20% penyebabnya dapat bertanggung jawab terhadap 80% masalah yang muncul. Pemilihan komponen kritis dilihat berdasarkan total biaya kerugian perbaikan komponen yang totalnya paling besar, karena hal tersebut sangat berdampak atau sangat merugikan bagi perusahaan. Besarnya total biaya kerugian perbaikan dapat disebabkan karena nilai *downtime* yang berbeda-beda sehingga hal tersebut dapat mempengaruhi pengeluaran biaya teknisi *maintenance*, biaya operator yang menganggur dan keuntungan yang akan hilang ketika mesin tidak dapat beroperasi. Semakin besar nilai *downtime* maka biaya yang perlu dikeluarkan untuk teknisi *maintenance*, operator menganggur dan keuntungan yang akan hilang ketika mesin tidak dapat beroperasi akan semakin besar, begitu juga sebaliknya. Selain itu, total biaya kerugian perbaikan yang besar juga dapat disebabkan karena harga pembelian komponen yang mahal. Berdasarkan hasil perhitungan diagram pareto yang sudah dilakukan, komponen yang termasuk ke dalam kategori kritis yaitu berjumlah 3 komponen diantaranya adalah *ring*, *clamp* dan gasket.

3.2.9 Analisis Parameter Distribusi Kerusakan

Perhitungan parameter untuk distribusi Weibull, nilai β untuk komponen kritis *ring* dan *clamp* lebih besar dari 1 artinya laju kerusakan dari komponen kritis *ring* dan *clamp* terus meningkat dari waktu ke waktu. Salah satu faktor yang mempengaruhi nilai β menjadi semakin besar adalah banyak jumlah kerusakan atau n dan nilai interval waktu kerusakan yang berbeda-beda. Meningkatnya laju kerusakan yang terjadi ini dapat disebabkan oleh penggunaan mesin yang kurang baik, faktor usia mesin dan juga bisa disebabkan karena perawatan mesin yang dilakukan masih belum maksimal.

Parameter yang digunakan untuk distribusi Lognormal adalah parameter μ yang memiliki arti sebagai nilai tengah dari laju kerusakan dan σ (*shape* parameter) yang memiliki arti sebagai laju kerusakan dari pola distribusi suatu komponen. Apabila nilai $\sigma < 1$ menunjukkan tingkat kerusakan meningkat dari waktu ke waktu, jika $\sigma = 1$ menunjukkan tingkat kerusakan konstan dan jika $\sigma > 1$ menunjukkan tingkat kerusakan menurun dari waktu ke waktu.

3.2.10 Analisis Perbandingan Ongkos Penggantian Komponen

Perhitungan *Cost of Preventive* (C_p) sangat berbeda dengan hasil perhitungan *Cost of Failure* (C_f). Salah satu faktor yang sangat mempengaruhi besar dan kecilnya biaya ongkos penggantian adalah lamanya waktu perbaikan atau penggantian. Perbaikan atau penggantian yang dilakukan sebelum komponen mesin mengalami kerusakan akan memiliki waktu penggantian yang lebih singkat dibandingkan dengan perbaikan atau penggantian yang dilakukan setelah Komponen mesin mengalami kerusakan.

3.2.11 Analisis Interval Waktu Penggantian Pencegahan Komponen

Hasil perbandingan antara waktu penggantian pencegahan dengan kebijakan *corrective maintenance* yang ada pada PT XYZ, penjadwalan penggantian komponen

pada mesin *filler* dapat lebih efektif untuk diterapkan. Dengan diterapkannya kebijakan ini maka perusahaan dapat mengurangi serta menghindari terjadinya kerusakan pada komponen mesin *filler* yang dapat mengakibatkan terjadinya *breakdown* pada mesin dengan *downtime* yang lebih lama. Hal tersebut dapat membantu perusahaan agar proses produksi tidak terhambat dan dapat meminimasi ongkos penggantian yang perlu dikeluarkan oleh perusahaan.

3.2.12 Analisis Penggabungan Komponen Penggantian

Tabel 16. Persentase Penghematan Penggabungan Jadwal Penggantian Komponen

Persentase Penghematan Penggabungan Komponen		
	Total Biaya Penggantian	Persentase Penghematan
Sebelum Penggabungan	202646637	42%
Sesudah Penggabungan	126560000	

Hasil pengolahan data didapatkan nilai interval waktu untuk penggantian pencegahan yang berbeda dari masing-masing komponen kritis. Namun, hal tersebut masih bisa disederhanakan dengan menggabungkan waktu penjadwalan penggantian pencegahan komponen yang jaraknya saling berdekatan menjadi satu waktu. Tujuannya adalah untuk meminimasi waktu dan biaya penggantian komponen. perhitungan untuk perbandingan biaya sebelum penggabungan diperoleh biaya sebesar Rp.202,646,637 dan biaya setelah penggabungan diperoleh biaya sebesar Rp.126,560,000 dengan selisih biaya sebesar Rp.76.086.637 Dimana biaya penggabungan penggantian komponen akan jauh lebih murah apabila dilakukan secara bersamaan. Penggabungan ini dilakukan untuk mempersingkat waktu pembongkaran mesin agar tidak dilakukan secara berulang kali karena satu kali pembongkaran dapat melakukan penggantian 3 komponen sekaligus. Hal seperti ini dapat mengakibatkan terjadinya penghematan biaya yang perlu dikeluarkan oleh perusahaan sebesar 42%.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapatkan dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Berdasarkan hasil perhitungan pemilihan komponen kritis dengan menggunakan diagram pareto yang mencapai presentasi kumulatif (%) sebesar 80% didapatkan 3 komponen kritis yang terpilih yaitu komponen *ring*, *clamp*, dan gasket.
- Hasil perhitungan interval waktu penggantian pencegahan untuk komponen kritis yang terpilih diantaranya untuk komponen *ring*, 180 hari dengan biaya ongkos penggantian $C(t_p)$ sebesar Rp. 350.196 untuk komponen *clamp* 150 hari dengan biaya ongkos penggantian $C(t_p)$ sebesar Rp. 313.564, untuk komponen gasket 100 hari dengan biaya ongkos $C(t_p)$ sebesar Rp. 284.371.
- Penggabungan penggantian komponen (*ring*, *clamp*, dan gasket) pada interval waktu 100 hari akan menghasilkan penghematan sebanyak 42%.

DAFTAR PUSTAKA

- Assauri, A. (2008). *Manajemen Produksi Dan Operasi*. Jakarta: Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia.
- Ben-Daya, M., Dkk. (2009). *Handbook Of Maintenance Management And Engineefiller*. London: Spfillerer
- Dhillon, B. S. (2006). *Maintainability, Maintanance, And Reability For Engineers*. New York: Taylor Francis Group.
- Dio, A. D., Hermanto, & Tamalika, T. (2023). Penerapan Metode Age Replacement Pada Usulan Jadwal Preventive Maintenance Mesin Dump Truck Di Pt. Bse Bayung Lencir. *Jurnal Nusantara Of Engineering*, 06.
- Ebeling, C. E. (1997). *An Introduction To Reliability And Maintainability Engineefiller*. Mcgraw-Hill International Edition.
- Jardine, A. K. S. (1973). *Maintanance, Replacement, And Reliability*. Canada: Pitman Publishing.
- Riandadari, D. & Haq, M. I. (2019). Penentuan Penjadwalan Preventive Maintanance Pada Komponen Mesin Callendar Di Pt. Karet Ngagel Surabaya Wira Jatim. *Jurnal Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya*, 9(1), 8-16.