

Perencanaan Jadwal Pergantian Komponen Metering Bar sebagai Upaya *Preventive Maintenance* untuk Meminimalisasi Jumlah Produk Cacat

Andri Rachmat Kumalasian Nasution^{*1}, Hermita Dyah Puspita², Gianti Puspawardhani³, Sinta Rahmawati⁴, Arini Dwi Sulastris⁵

^{1,2,3,4,5}Teknik Industri, Fakultas Teknologi Manufaktur, Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia
Email: ¹andri.rachmatk@lecture.unjani.ac.id, ²hermitadp@yahoo.com.sg,
³gianti.puspawardhani@lecture.unjani.ac.id, ⁴shintarahma93@gmail.com,
⁵arinidwisulastris@gmail.com

Abstrak

PT. XYZ merupakan perusahaan penghasil kertas Duplex Board yang bahan baku berasal dari kertas dan karton. *Duplex Board* biasa digunakan untuk kemasan industri makanan – minuman, farmasi, tekstil, bahkan elektronika. Saat ini perusahaan mengalami tingkat kecacatan yang cukup tinggi yaitu 9,74% dari total produksi 436 ton produk. Kecacatan yang dialami oleh perusahaan didapat dari jumlah kecacatan kualitas 2 dan kecacatan kualitas 3, dimana jenis cacat paling tinggi pada kualitas 2 dan kualitas 3 yaitu cacat coating tidak rata. Perusahaan menetapkan batas maksimum kecacatan yaitu 5%. Dari hasil analisis sebab akibat dan data kecacatan, komponen mesin yang menyebabkan kecacatan yaitu karena komponen Metering Bar pada mesin *coater* yang rusak dan belum adanya jadwal penggantian komponen sebagai upaya *preventive maintenance*. Model Age Replacement digunakan dalam penelitian ini untuk memecahkan permasalahan tersebut. Metode ini dipilih karena metode ini dapat memberikan informasi umur penggantian komponen yang optimal yang dapat dilihat dari nilai downtime terkecil. Berdasarkan hasil pengolahan data diketahui bahwa komponen metering bar perlu diganti setiap 65 jam sekali atau selama 2 hari sekali. Setelah diketahui kapan komponen harus diganti, maka jadwal penggantian komponen untuk meminimalisasi produk cacat disusun berdasarkan satuan jam pakai mesin. Jadwal pergantian ini juga sudah mempertimbangkan biaya relevan yang berkaitan dengan total produksi.

Kata kunci: *Jadwal, Pencegahan, Penggantian, Perawatan, Umur*

Abstract

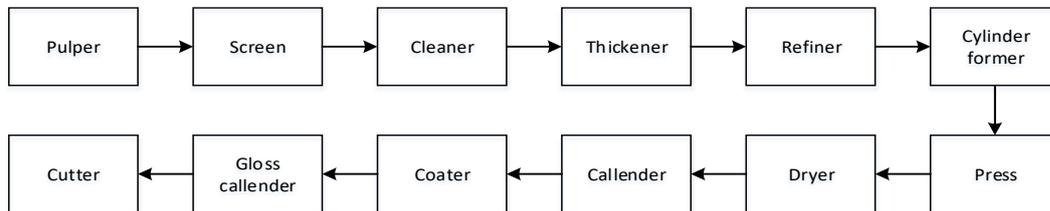
PT. XYZ is a company producing Duplex Board paper whose raw materials come from paper and cardboard. Duplex Board is commonly used for packaging in the food – beverage, pharmaceutical, textile, and even electronics industries. Currently, the company is experiencing a relatively high defect rate, which is 9.74% of the total production of 436 tons of products. The defects experienced by the company are obtained from the number of defects of quality two and defects of quality 3, where the type of defect is highest in quality two and quality 3, namely uneven coating defects. The company sets the maximum limit for disability, which is 5%. From the results of fishbone analysis and defect data, machine components that because defects are due to damage to the Metering Bar component on the coater machine and the absence of a component replacement schedule as a preventive maintenance effort. The Age Replacement model is used in this study to solve these problems. This method was chosen because this method can provide information on the optimal replacement life of components that can be seen from the smallest downtime value. Based on the data processing results, it is known that the Metering Bar component needs to be replaced every 65 hours or every two days. After knowing when the components must be replaced, the component replacement schedule to minimize defective products is arranged based on the unit hours of machine use. This change schedule has also considered the relevant costs associated with total production.

Keywords: *Age, Maintenance, Preventive, Replacement, Schedule*

1. PENDAHULUAN

PT. XYZ merupakan perusahaan produsen kertas *Duplex Board*. Strategi respon pasar yang diterapkan pada proses produksi di PT. XYZ adalah bersifat make to order, yaitu perusahaan akan

melakukan produksi berdasarkan pesanan dari konsumen dengan waktu kedatangan dan jenis produk yang bervariasi. Alur proses yang terdapat pada proses produksi *duplex board* adalah *flowshop*. Proses produksi pembuatan produk dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Proses Pembuatan Produk

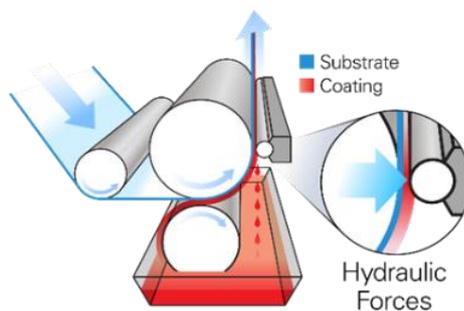
Perusahaan mampu memproduksi hingga 89-ton *duplex board* setiap hari dengan jumlah hari kerja adalah 25 hari/bulan. Dua bulan terakhir perusahaan berhasil memproduksi 4486 ton kertas *Duplex Board*, namun bagian produksi beberapa kali menerima keluhan dan klaim cacat kertas *Duplex Board* yang dikategorikan menjadi dua tingkatan cacat dari bagian kualitas. Produk yang baik disebut dengan produk kualitas satu, sedangkan produk yang cacat disebut dengan produk kualitas dua dan produk kualitas tiga. Produk kualitas dua merupakan produk dengan tingkat kecacatan yang tidak terlalu dominan, sedangkan produk kualitas tiga merupakan produk dengan tingkat kecacatan yang cukup dominan. Produk yang dianggap cacat masih dapat dijual namun dengan harga jauh lebih rendah dibandingkan dengan produk yang spesifikasinya sesuai dengan keinginan konsumen. Kualitas merupakan kemampuan produk untuk melaksanakan fungsinya, termasuk keawetan, ketepatan, kemudahan dipergunakan, dan diperbaiki, serta atribut bernilai yang lain (Losung et al., 2022). Kualitas merupakan salah satu indikator penting bagi perusahaan untuk dapat eksis ditengah ketatnya persaingan dalam industri. Sebelumnya perusahaan menetapkan batas maksimal produk cacat yaitu sebesar 5% dari total produksi perusahaan dalam suatu periode produksi. Rekapitulasi produk cacat berdasarkan hasil klaim bagian kualitas dalam dua bulan terakhir dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Jenis, Jumlah, dan Persentase Cacat Produk

Cacat kualitas	Jenis cacat	Jumlah cacat	Jumlah cacat produksi
Kualitas 2	Coating Tidak Rata	63.33	327.96
	Basah	49.35	
	Cacat Coating	41.98	
	Buburan Surut	31.09	
	Pva Surut (Tanpa Vpa)	23.81	
	Kembung	19.21	
	Kbh Slime	17.38	
	Garis Tapioka	15.47	
	Melengkung	13.08	
	Kumulatif cacat Lain-lain	53.26	
Kualitas 3	Coating Tidak Rata	32.87	108.94
	Buburan Surut	29.35	
	Basah	13.07	
	Kumulatif cacat lain-lain	21.86	

Berdasarkan Tabel 1 dapat diketahui bahwa jumlah cacat produk sebesar 9,74 % melebihi toleransi yang diberikan perusahaan. Jenis cacat tertinggi adalah cacat *coating* tidak rata, yaitu 63,33 pada kualitas 2 dan 32,87 pada kualitas 3. Cacat *coating* tidak rata merupakan cacat tidak rata pada permukaan kertas berupa bercak buram, dan bentuk garis, yang mengakibatkan permukaan kertas menjadi kurang *glossy*/mengkilat, sehingga jika di beri warna maka tidak begitu nampak. Penyebab cacat *coating* tidak rata diakibatkan dari mesin *coater* dengan komponen *Metering Bar* yang sering mengalami kerusakan, diakibatkan karena komponen yang digunakan melebihi usia pakai, sehingga

komponen pada mesin *coater* mengalami kerusakan yang menyebabkan cacatnya produk. Ilustrasi mesin *coater* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Mesin *Coater*

Mesin *coater* merupakan mesin yang sangat penting dalam proses produksi di PT. XYZ karena mesin *coater* merupakan salah satu mesin pembuatan kertas *duplex board* yang berfungsi untuk memberikan lapisan *glossy* pada kertas. Data kerusakan komponen pada mesin *coating* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Kerusakan Komponen Pada Mesin *Coating*

No	Nama Komponen	Frekuensi Kerusakan (Kali)	Lama Downtime (Jam)
1	Metering Bar	12	11
2	Bar Holder	1	2
3	Air Tube	1	1
4	Aplicator Roll	1	2
Jumlah		15	16

Dapat dilihat pada Tabel 2 bahwa jumlah frekuensi kerusakan terbanyak dan menghasilkan *downtime* mesin paling lama ada pada komponen *Metering Bar*. Kerusakan pada komponen tersebut dikarenakan gesekan antar kertas yang mengakibatkan *Metering Bar roll* aus sehingga diameternya mengecil atau ada cacat *scretch*, dimana komponen *Metering Bar* ini berfungsi untuk memberikan lapisan *glossy* pada kertas. Hasil kerusakan tersebut mengakibatkan warna pada kertas menjadi kontras dan hasil yang tidak sesuai dengan keinginan konsumen.

Kebijakan perawatan yang diterapkan perusahaan saat ini terhadap mesin tersebut adalah tindakan perawatan secara *corrective*, yaitu mesin akan diperbaiki ketika mesin tersebut mengalami kerusakan (Hidayat & Sutoto, 2011), dengan perawatan yang dilakukan rata-rata yaitu dua minggu sekali atau 288 jam sekali. Jika hal ini tidak diperbaiki, maka perusahaan akan terus memproduksi produk kualitas dua dan kualitas tiga yang tetap bisa dijual namun harganya turun hingga 30-60% dari harga produk kualitas satu. Hal ini tentu mengurangi produktivitas perusahaan karena perusahaan menjual produk yang harganya tidak maksimal namun dengan proses yang sama.

2. TUJUAN PENELITIAN

Berdasarkan pendahuluan tersebut, maka tujuan dari penelitian ini adalah merencanakan jadwal *preventive maintenance* dengan cara menentukan usulan waktu penggantian komponen *matering bar* pada proses produksi *duplex board* di mesin *coater* sehingga perusahaan mampu meminimalisasi kecacatan produk. *Preventive Maintenance* adalah upaya perbaikan yang dilakukan ketika produksi sedang tidak berlangsung, biasanya dilakukan pada hari Sabtu (Hidayat & Sutoto, 2011). Integrasi antara penjadwalan produksi dengan jadwal perawatan pernah dibahas oleh (Yusriski et al., 2019).

Metode penelitian yang diterapkan untuk menentukan usulan waktu penggantian komponen *Metering Bar* pada proses produksi *duplex board* di mesin *coater* sebagai upaya *preventive maintenance* untuk meminimalisasi produk cacat adalah model *age replacement*. Model ini merupakan model yang dapat digunakan untuk menentukan interval waktu penggantian komponen dengan

mempertimbangkan umur pakai komponen (Devani & Maidila, 2021). Beberapa penelitian mengenai *preventive maintenance* pernah dibahas oleh (Anggraini et al., 2020; Atmaji & Dwi, 2015; Rahmadi & Zetli, 2022; Zamri & Sirai, 2020). Penelitian ini juga mempertimbangkan aspek biaya dalam pengambilan keputusan. Penelitian mengenai aspek biaya kualitas pada perawatan pernah dibahas oleh (Norina & Puspita, 2017, 2018). Langkah-langkah yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

2.1. Mengidentifikasi Komponen Kritis

Langkah ini dilakukan untuk mengetahui komponen yang paling berpengaruh pada proses produksi sehingga perlu dilakukan perawatan secara teratur. Langkah ini telah dibahas sebelumnya dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 1.

2.2. Menghitung Waktu Antar Penggantian Komponen

Perhitungan waktu antar penggantian yaitu data yang diperoleh merupakan data awal yang menunjukkan tanggal dan waktu penggantian komponen sehingga data tersebut perlu diolah lebih lanjut untuk mengetahui waktu antar penggantian. Jarak waktu antar penggantian diperoleh dari jadwal penggantian komponen mesin coater awal hingga penggantian komponen mesin.

2.3. Identifikasi Penentuan Distribusi Waktu Antar Kerusakan

Pengujian distribusi dilakukan terhadap hasil penentuan pola distribusi (r terbesar) untuk menyatakan bahwa distribusi tersebut benar-benar mewakili data interval kerusakan masing-masing komponen. Metode yang dilakukan dengan pengujian *mann test*. Langkah perhitungan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Menentukan waktu antar kerusakan ke- i (t_i)
2. Menghitung nilai (x_i), melalui persamaan distribusi sebagai berikut:
 - Distribusi Eksponensial dengan formula $x_i = t_i$ (1a)
 - Distribusi Weibull dengan formula $x_i = \ln t_i$ (1b)
 - Distribusi Normal dengan formula $x_i = t_i$ (1c)
 - Distribusi Lognormal dengan formula $x_i = \ln t_i$ (1d)

Keterangan:

x_i : Data waktu kerusakan

3. Menghitung nilai $F(t_i)$ melalui persamaan sebagai berikut:

$$F(t_i) = \frac{i-0,3}{n+0,4} \quad (2)$$

Keterangan:

- n = jumlah sampel

- $F(t_i)$ = Fungsi distribusi kumulatif

4. Menghitung nilai y_i melalui persamaan berikut :

$$\text{- Distribusi Eksponensial dengan formula } y_i = \ln\left(\frac{1}{1-F(t_i)}\right) \quad (2a)$$

$$\text{- Distribusi Weibull dengan formula } y_i = \ln\left(\ln\left(\frac{1}{1-F(t_i)}\right)\right) \quad (3)$$

$$\text{- Distribusi Normal dengan formula } y_i = Z_i = \Phi^{-1}[F(t_i)] \quad (4)$$

$$\text{- Distribusi Lognormal dengan formula } y_i = Z_i = \Phi^{-1}[F(t_i)] \quad (5)$$

Keterangan:

y_i adalah taksiran terhadap fungsi distribusi kumulatif

5. Menghitung nilai $x_i y_i$: diperoleh dari perkalian x_i terhadap y_i

6. Menghitung nilai x_i^2 : diperoleh dari (x_i dikuadratkan)

7. Menghitung nilai y_i^2 : diperoleh dari (y_i dikuadratkan)

8. Menghitung nilai $r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i) (\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2] [n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2]}} \quad (6)$

Keterangan:

r = indeks of fit

9. Pemilihan indeks of fit terbesar

Setelah dilakukan perhitungan *indeks of fit* kemudian mencari nilai *indeks of fit* terbesar untuk diuji kesesuaiannya dengan distribusi tertentu.

2.4. Menguji Distribusi Waktu Antar Kerusakan Komponen Kritis

Agar dapat diketahui distribusi tersebut benar-benar mewakili penyebaran data waktu kerusakan masing-masing komponen maka dilakukan pengujian distribusi terhadap data yang memiliki nilai *indeks of fit* terbesar. Adapun distribusi pada penelitian ini yaitu Distribusi Weibull menggunakan uji *mann's Test*. Langkah-langkah pengujian distribusi waktu adalah sebagai berikut:

1. Membuat Hipotesis

H_0 = Data waktu kerusakan mengikuti distribusi *weibull*

H_1 = Data waktu kerusakan tidak mengikuti distribusi *Weibull*

2. Menentukan ranking (t_i) yaitu dengan menggunakan data kerusakan komponen kritis dari data terkecil hingga terbesar, dimana t_i adalah waktu antar kerusakan

3. Menghitung taksiran terhadap data waktu antar kerusakan, dimana $x_i = \ln t_i$ (7)

4. Menentukan nilai $x_{i+1} - x_i$, (8)

Dimana: i = urutan terjadinya kerusakan ke-i

x = hasil dari pengurangan antara $x_{i(n+1)} - x_{i(n)}$

5. Menentukan nilai M_i , dengan n sampel dan tingkat kepercayaan n%

Dimana: M_i = nilai yang diperoleh dari tabel statistik S untuk goodness of fit distribusi weibull.

6. Menghitung nilai gradien b dengan persamaan sebagai berikut:

a. Distribusi weibull, normal, dan lognormal

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i) \cdot (\sum_{i=1}^n y_i)}{[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2]} \quad (9)$$

b. Distribusi eksponensial

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2} \quad (10)$$

7. Menghitung nilai *inteccept* a untuk semua distribusi yang digunakan dengan persamaan

$$a = y - bx \quad (10a)$$

8. Menentukan parameter berdasarkan distribusi yang digunakan dengan persamaan sebagai berikut:

a. Parameter distribusi *weibull* menggunakan formula $\beta = 1/b$ dan $\Theta = e^{\frac{a}{b}}$ (11)

b. Parameter distribusi eksponensial dengan formula $\lambda = b$ (12)

c. Parameter distribusi normal menggunakan formula $\sigma = \frac{1}{b}$ dan $\mu = -\left(\frac{a}{b}\right)$ (13)

d. Parameter distribusi lognormal menggunakan formula $s = \frac{1}{b}$ dan $x_{med} = e^{-sa}$ (14)

9. Perhitungan *Time to Failure* (TTF)

Penentuan rata-rata waktu antar kerusakan (MTTF) didasarkan pada distribusi yang terbentuk dari data yang terkumpul berkenaan waktu kerusakan. Untuk menghitung nilai MTTF distribusi *weibull* adalah sebagai berikut:

$$MTTF = \theta \cdot r \left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (15)$$

2.5. Menentukan Jadwal Perawatan Komponen Kritis Pada Mesin Coating Dengan Metode Age Replacement

Tahap terakhir merupakan tahap menentukan jadwal perawatan atau pergantian komponen mesin *coating* dengan metode *age replacement* yang akan disajikan pada Tabel 3. Metode pengisian Tabel 3 akan lebih rinci dibahas pada bab selanjutnya.

Tabel 3. Penentuan Interval Waktu Penggantian Pencegahan

t_p	T_p	T_f	α	β	$F(t_p)=1-R(t_p)$	$R(t_p) = \exp(-M(t_p))$	$M(t_p) = (t_p/\alpha)^\beta$	$1 - R(t_p)$	$D(t_p)$
-------	-------	-------	----------	---------	-------------------	--------------------------	-------------------------------	--------------	----------

Terdapat model sistem perawatan dengan cara pergantian, yaitu model *Age replacement*. Jenis kebijakan pergantian pencegahan *Age replacement* dimana unit diganti pada waktu yang sudah dijadwalkan. Berdasarkan hasil observasi data perbaikan yang digunakan ialah variabel, karena data tersebut merupakan data kuantitatif. Dengan asumsi bahwa masa pakai unit adalah variabel yang tidak pasti. Berikut langkah *age replacement*:

1. Menghitung nilai M dengan rumus:

$$M(t_p) = (t_p/\alpha)^\beta \quad (16)$$

2. Menghitung nilai R dengan rumus sebagai berikut:

$$R(t_p) = \exp(-t_p/\alpha)^\beta \quad (17)$$

3. Menghitung nilai F(t_p) dengan rumus sebagai berikut:

$$F(t_p) = 1 - R(t_p) \quad (18)$$

4. Menghitung nilai D(t_p) dengan rumus sebagai berikut:

$$D(t_p) = \frac{\text{Total ekspektasi downtime per siklus}}{\text{Ekspektasi panjang waktu siklus}} \quad (19)$$

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

1. Total ekspektasi *downtime* per siklus:

$$T_p \cdot R(t_p) + T_f \cdot (1 - R(t_p)) \quad (20)$$

2. Ekspektasi panjang waktu siklus:

$$(t_p + T_p) \cdot R(t_p) + (M(t_p) + T_f) \cdot (1 - R(t_p)) \quad (21)$$

Sehingga menghitung downtime dapat menggunakan formula:

$$D(t_p) = \frac{T_p \cdot R(t_p) + T_f [1 - R(t_p)]}{(t_p + T_p) \cdot R(t_p) + (M(t_p) + T_f) \cdot (1 - R(t_p))} \quad (22)$$

Keterangan:

- tp = Interval penggantian pencegahan
- Tf = Waktu untuk melakukan perbaikan kerusakan
- Tp = Waktu untuk melakukan penggantian pencegahan
- F(t_p) = Fungsi kepadatan peluang dari waktu kerusakan
- R(t_p) = Probabilitas terjadinya siklus pencegahan
- M(t_p) = Nilai ekspektasi panjang siklus kerusakan jika penggantian perbaikan dilakukan
- D(t_p) = Probabilitas total *downtime* per unit waktu untuk penggantian pencegahan

2.6. Menghitung Estimasi Biaya Total Setelah Dilakukan Upaya Perbaikan

Perhitungan total biaya sebelum dan sesudah tindakan perawatan pencegahan (*preventive maintenance*) dapat digunakan untuk mengetahui efektif atau tidaknya tindakan perawatan pencegahan ini untuk mengurangi biaya perawatan. Pada tahap ini setelah diperoleh data yang lengkap, selanjutnya yaitu menentukan distribusi kerusakan dengan uji *chi Square Godness Of Fit*, menentukan fungsi padat probabilitas, menentukan tingkat keandalan komponen, menentukan interval perawatan pencegahan berdasarkan ekspektasi biaya terendah dengan model *age replacement* dan keandalan serta melakukan perhitungan total biaya *preventive* usulan. Kemudian setelah didapatkan interval waktu perawatan paling optimal kemudian dilakukan perbandingan total biaya *preventive* usulan dengan total biaya preventif perusahaan Alkaf Khamdi, (1992).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Data Kecacatan Produk

Data kecacatan produk didapatkan dari bagian pengendalian kualitas PT. XYZ. Jenis cacat pada produksi *duplex board* antara lain coating kertas tidak rata, basah, cacat *coating*, buburan surut, PVA

surut, kembang, kbh *slime*, garis tapioka, melengkung, formasi top, *blowing*, *press crush*, ukuran tidak standar, *back* kotor, garis *gloss*, *mothling*, garis *coating*, *dusting*, *gloss* tidak standar, *dusting* OC, kotor jatuh, garis *van belt*, cacat *callender*, potongan tidak rata, dan cacat silinder. Rekapitulasi data kecacatan produk dapat dilihat pada Tabel 1.

3.2. Data Kerusakan Komponen

Data kerusakan komponen didapatkan dari bagian perawatan PT. XYZ. Rekapitulasi data kerusakan komponen dapat dilihat pada Tabel 2.

3.3. Data Biaya Pemeliharaan

Biaya perawatan terbagi atas beberapa elemen mengikuti komponen pengganti, teknisi operator, teknisi mesin. Adapun biaya-biaya tersebut adalah sebagai berikut:

A. Biaya Teknisi

- Upah per bulan teknisi = Rp. 2.522.809/bulan
 - Jam kerja teknisi = 8 Jam/Hari
 - Waktu kerja/bulan = 20 hari dengan 8 Jam/shift
- Maka upah untuk tenaga kerja teknisi (Rp/jam) adalah sebagai berikut:

$$\text{Teknisi pemeliharaan} = \frac{\text{Rp.2.522.809}}{(20 \times 8)} = \text{Rp. 15.767,55}$$

B. Biaya Akibat Mesin Mengganggu (*Downtime*)

Biaya akibat mesin mengganggu adalah biaya yang keluar akibat proses produksi karena mesin mengalami kerusakan atau mesin dalam masa perbaikan pada mesin rusak. Berdasarkan proses produksinya, mesin mampu menghasilkan sebanyak 2 ton/jam.

- Harga jual = Rp. 8.000.000/ton
- Biaya produksi = Rp. 6.000.000/ton
- Keuntungan = harga jual – biaya produksi
 = Rp. 8.000.000/ton – Rp. 6.000.000/ton
 = Rp. 2.000.000/ton

Keuntungan yang hilang akibat mesin mengganggu adalah:
 = Rp. 2.000.000/ton x 24 unit/jam
 = Rp. 48.000.000/ton

- Biaya operator
 Upah per bulan operator = Rp 4.978.657
 Jam kerja = 8 jam/hari
 Waktu kerja/bulan = 20 hari dengan 8 Jam/shift

Maka untuk tenaga kerja (Rp./jam) adalah sebagai berikut:
 Operator mengganggu = $\frac{\text{Rp 4.978.657}}{(20 \times 8)} = \text{Rp. 31.116}$

C. Biaya Pembelian Komponen Pengganti

Biaya pembelian komponen pengganti untuk metering bar sebesar Rp. 1.250.000/unit

D. Waktu Perawatan

Tabel 4 merupakan data waktu total *preventive maintenance* dan waktu total *corrective maintenance* komponen *Metering Bar*. Berdasarkan Tabel 4 dapat diketahui bahwa total waktu perbaikan untuk metode *preventive maintenance* lebih cepat dari pada harus melakukan perbaikan ketika mesin rusak dengan selisih 32 menit. Angkat waktu dari setiap kegiatan perawatan didapatkan dari hasil survei ke lokasi langsung.

Tabel 4. Waktu Perawatan Komponen *Metering Bar*

Nama Metode	Kegiatan Perawatan	Waktu (Menit)	Waktu (Jam)	Waktu (Hari)
Preventive	Membongkar mesin	15	0,2500	0,01042
	Mengganti komponen <i>Metering Bar</i>	15	0,2500	0,01042

	Mengecek mesin	10	0,1667	0,00694
	Memasang kembali mesin	15	0,2500	0,01042
	Total	55	0,9167	0,03819
Corrective	Melaporkan kerusakan mesin	30	0,5000	0,020833
	Mematikan mesin	15	0,2500	0,010417
	Mempersiapkan peralatan	7	0,1167	0,004861
	Membongkar mesin	10	0,1667	0,006944
	Mengecek mesin	15	0,2500	0,010417
	Memasang kembali mesin	10	0,1667	0,006944
	Total	87	1,4500	0,060417

3.4. Pengolahan Data

A. Interval Waktu Pergantian Komponen Mesin *Coater*

Data kerusakan dan interval kerusakan pergantian komponen pada mesin *coater* komponen *Metering Bar* dari dua bulan terakhir dapat dilihat pada Tabel 5. Data ini bersumber dari bagian perawatan perusahaan. Perhitungan untuk mendapatkan selisih waktu antar kerusakan pada komponen *Metering Bar* sebagai berikut:

- Selisih waktu dari rentang waktu dua bulan = 6 hari
- Jam kerja di perusahaan = 8 jam/hari
- 3 shift dalam sehari = 8 x 3 = 24 jam/hari
- 6 hari x 24 jam = 144 jam

Tabel 5. Interval Kerusakan Komponen Mesin *Metering Bar*

No	Tanggal Kerusakan	Banyak Kerusakan	Interval Kerusakan (Hari)	Interval Kerusakan (Jam)
1	01/09/19	1		
2	03/09/19	1	2	48
3	06/09/19	1	3	72
4	11/09/19	2	5	120
5	18/09/19	2	7	168
6	25/09/19	1	5	120
7	30/09/19	2	5	48
8	04/10/19	1	4	96
9	07/10/19	1	3	72
10	13/10/19	2	6	144
11	15/10/19	1	2	48
12	16/10/19	1	1	24

B. Penentuan distribusi pergantian komponen kritis mesin *Metering Bar*

Uji distribusi dilakukan untuk mengidentifikasi data kerusakan mengikuti pola distribusi tertentu. Uji distribusi dilakukan dengan membandingkan *index of fit* (r) nilai r. Nilai *index of fit* (r) yang terbesar akan dipilih sebagai distribusi yang sesuai. Formula menghitung *index of fit* (r) dapat dilihat pada bab dua. Berdasarkan distribusi yang diuji meliputi normal, lognormal, *weibull*, dan eksponensial didapatkan hasil seperti disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Rekapitulasi Perhitungan *Index of Fit*

Perhitungan	Normal	Lognormal	Weibull	Eksponensial
a	4346,58639	58,22403	71,37710	4346,58639
b	525888,00000	38,24887	38,24887	525888,00000
c	138,97212	93,4834	138,97212	138,97212
d	73083771,30063	3575,634	5315,52655	73083771,30063
e	8548,90468	59,79661	72,90766	8548,90468
r	0,50844	0,973701	0,97901	0,50844

Berdasarkan Tabel 6 diketahui bahwa disitribusi yang terpilih yaitu distribusi weibull karena nilai *index of fit* (r) yang paling besar yaitu senilai 0.97. Hasil perhitungan didapatkan dengan menerapkan formula (1a) hingga formula (6)

C. Pengujian Distribusi Waktu Antar Kerusakan Komponen Kritis Mesin Coater

Setelah melakukan perhitungan *index of fit* (r), selanjutnya dilakukan pengujian waktu antar kerusakan untuk menguji kebenaran data yang ada mengikuti pola distribusi tersebut. Pengujian melakukan *Mann's test* karena pola distribusi yang terpilih yaitu distribusi *Weibull*. Pada tahap pengujian ini terdapat dua hipotesis sebagai berikut:

H_0 : *Metering Bar* berdistribusi *Weibull*

H_1 : *Metering Bar* tidak berdistribusi *Weibull*,

Uji yang dilakukan yaitu uji *Mann's test* dengan tingkat kepercayaan (α) : 95% dan $r = 11$ maka $(r/2)+1 = (11/2)+1 = 6,5$. Jika $S_{hitung} < S_{tabel}$ maka H_0 diterima. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 7. Kolom 1 merupakan jumlah data yang didapatkan, kolom dua merupakan waktu antar perbaikan yang sumbernya merupakan pengurutan dari Tabel 1, kolom tiga dihitung menggunakan formula (7), kolom empat didapatkan dari tabel statistik S untuk *goodness of fit* distribusi *Weibull*, kolom 5 dihitung menggunakan formula (8), dan kolom enam merupakan pembagian antara kolom lima dengan kolom 4. Berdasarkan hasil perhitungan diketahui bahwa nilai $S_{hitung} < S_{tabel}$ sehingga dapat disimpulkan cukup bukti untuk menyatakan H_0 diterima.

Tabel 7. Perhitungan Uji Distribusi Untuk Komponen *Metering Bar*

i	Ti	$X_i = \ln(t_i)$	Mi	$X_{i+1} - X_i$	$(X_{i+1} - X_i) / M_i$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1	24	3,17805383	1,04841	0,693147	0,661141
2	48	3,871201011	0,55277	0,000000	0,000000
3	48	3,871201011	0,39141	0,405465	1,035909
4	72	4,276666119	0,31471	0,000000	0,000000
5	72	4,276666119	0,27325	0,287682	1,052836
6	96	4,564348191	0,25139	0,223144	0,887653
7	120	4,787491743	0,24393	0,000000	0,000000
8	120	4,787491743	0,25155	0,000000	0,000000
9	120	4,787491743	0,28388	0,182321557	0,642251
10	144	4,9698133	0,38907	0,15415068	0,396202
11	168	5,123963979	-	-	-
Σ					4,675991
S Hitung	0,412				
S Tabel	0,74				

Penjabaran perhitungan Tabel 7 adalah sebagai berikut:

- Nilai M_i diperoleh berdasarkan tabel *Gamma Function* dengan nilai $n = 11$
- $X_i = \ln(24) = 3,17805383$
- $X_{i+1} - X_i = X_2 - X_1 = 3,87120 - 3,178053 = 0,693147$
- $(X_{i+1} - X_i) / M_i = \frac{0,693147}{1,04841} = 0,66114$
- $S_{hitung} = \sum_{i=(\frac{r}{2})+1}^{r-1} \left[\frac{X^{(i+1)} - X_i}{M_i} \right]$
 $= \sum_{i=6,5}^{11} \left[\frac{X^{(i+1)} - X_i}{M_i} \right]$
 $= 0,887653 + 0,000000 + 0,000000 + 0,642251 + 0,396202$
 $= 1,926106$
- $S_{hitung} = \frac{1,926106}{4,675991} = 0,412$

D. Penentuan Parameter Distribusi Selang Waktu Antar Pergantian Komponen Kritis Pada Mesin Coater

Parameter distribusi dapat dihitung setelah diketahui pola distribusi kerusakan. Parameter distribusi *weibull* terdiri atas parameter skala (α) dan parameter bentuk (β). Berikut merupakan tabel perhitungan parameter distribusi *weibull* terhadap data kerusakan. Perhitungan parameter komponen *Metering Bar* dapat dilihat pada Tabel 8. Pada Tabel 8 dapat diketahui bahwa nilai parameter $\alpha = 105,8$ dan $\beta = 1,96$. Parameter tersebut akan digunakan untuk menghitung *Mean Time To Failure* (MTTF). MTTF (Mean Time to Failure) adalah rata-rata dari selang waktu antar kerusakan komponen yang pertama dengan kerusakan selanjutnya. Formula yang digunakan pada tahap ini yaitu formula (9) dan formula (11).

Tabel 8. perhitungan penentuan nilai parameter pada komponen *Metering Bar*

i	Ti	i-0,3	n+0,4	F(ti)= (i-0,3)/(n+0,4)	R(ti) = 1-F(ti)	xi= ln ln(1/R(ti))	yi = ln(ti)	xi2	xiyi
1	24	0,7	11,4	0,061404	0,938596	-2,758771	3,178054	7,610816	-8,767522
2	48	1,7	11,4	0,149123	0,850877	-1,823328	3,871201	3,324524	-7,058468
3	48	2,7	11,4	0,236842	0,763158	-1,308259	3,871201	1,711541	-5,064532
4	72	3,7	11,4	0,324561	0,675439	-0,935491	4,276666	0,875144	-4,000784
5	72	4,7	11,4	0,412281	0,587719	-0,632041	4,276666	0,399476	-2,703029
6	96	5,7	11,4	0,500000	0,500000	-0,366513	4,564348	0,134332	-1,672893
7	120	6,7	11,4	0,587719	0,412281	-0,120981	4,787492	0,014636	-0,579195
8	120	7,7	11,4	0,675439	0,324561	0,118032	4,787492	0,013932	0,565079
9	120	8,7	11,4	0,763158	0,236842	0,364894	4,787492	0,133148	1,746928
10	144	9,7	11,4	0,850877	0,149123	0,643424	4,969813	0,413994	3,197696
11	168	10,7	11,4	0,938596	0,061404	1,026145	5,123964	1,052973	5,257930
Σ	1032	62,7	125,4	5,500000	5,500000	-5,792888	48,49439	15,684516	-19,078791
a	4,678								
b	0,51								
α	105,82								
β	1,96								

Penjabaran Perhitungan:

$$\beta = \frac{1}{b}$$

$$\alpha = \frac{\bar{x}}{r(\frac{1}{\beta}+1)}$$

Dimana:

$$a = \bar{y} - b\bar{x}$$

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2]}$$

Maka:

$$b = \frac{11(-8,767522) - (-2,758771)(3,178054)}{[11(7,610816) - (-2,758771)^2]}$$

$$= 0,5113$$

$$a = \frac{48,49439}{11} - 0,5113 \left(\frac{-5,792888}{11} \right) = 4,677842$$

Perhitungan untuk parameter β dan α adalah sebagai berikut:

$$\beta = \frac{1}{0,5113} = 1,9558$$

$$\alpha = \frac{\bar{x}}{\Gamma(\frac{1}{\beta}+1)} = \frac{93,81811}{\Gamma(\frac{1}{1,9558}+1)} = \frac{93,81811}{\Gamma(1,51129)} = \frac{93,81811}{(0,88659)} = 105,8191293$$

(perhitungan diatas menggunakan tabel *gamma function*)

E. Perhitungan MTTF

Nilai parameter skala dan parameter bentuk dari distribusi kerusakan digunakan untuk menentukan Mean Time To Failure (MTTF). MTTF akan digunakan sebagai pembanding antara

jadwal yang dibuat menggunakan metode Age Replacement. MTTF pada penelitian ini yaitu setiap 93, 81 jam. Formula yang digunakan pada tahanan ini yaitu formula (15). Adapun perhitungan MTTF pada penelitian ini yaitu:

$$\begin{aligned} \text{MTTF} &= \alpha \Gamma(1 + 1/\beta) \\ &= 105,8191293 \cdot \Gamma(1 + 1/(1,9558)) \\ &= 93,81818 \text{ jam} \end{aligned}$$

F. Fungsi Keandalan Dan Laju Kerusakan Komponen

Fungsi keandalan menunjukkan kemampuan suatu komponen peralatan untuk beroperasi secara terus menerus tanpa adanya kerusakan. Sedangkan fungsi laju kerusakan merupakan laju kerusakan yang terjadi dalam suatu selang waktu tertentu.

Fungsi keandalan dan laju kerusakan komponen *Metering Bar* dapat dijelaskan sebagai berikut.

- Fungsi Keandalan Komponen

$$R(t) = \exp\left(-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta\right) \quad \text{dimana } \theta > 0, \beta > 0, \text{ dan } t \geq 0$$

Penjabaran Perhitungan laju keandalan

$$\begin{aligned} R(tp) &= \exp\left(-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta\right) \\ R(tp) &= \exp\left(-\left(\frac{1}{105,8191}\right)^{1,955815}\right) \\ &= 1 \end{aligned}$$

- Fungsi Laju Kerusakan

$$r(t) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta-1} \quad \text{dimana } \theta > 0, \beta > 0, \text{ dan } t \geq 0$$

Penjabaran Perhitungan laju kerusakan:

$$\begin{aligned} r(t) &= \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta-1} \\ r(t) &= \frac{1,955815}{105,8191} \left(\frac{1}{105,8191}\right)^{1,955815-1} \\ &= 0,000214613 \end{aligned}$$

Tabel 9 menunjukkan rekapitulasi laju keandalan komponen $R(tp)$ dan laju kerusakan $r(t)$ komponen metering bar. Berdasarkan data yang ada pada Tabel 9 dapat diketahui bahwa seiring berjalannya waktu, keandalan dari komponen tersebut terbukti semakin menurun dan sebaliknya, semakin lama komponen digunakan maka semakin tinggi tingkat laju kerusakan komponen.

Tabel 9. Fungsi Laju Keandalan dan Laju Kerusakan Komponen *Metering Bar*

Data ke -	Laju Keandalan			Laju Kerusakan		
	α	β	$R(tp)$	α	β	$r(t)$
1	1,058,191	1,955,815	1	1,058,191	1,955,815	0,000214613
2	1,058,191	1,955,815	0,99957	1,058,191	1,955,815	0,000416279
3	1,058,191	1,955,815	0,99906	1,058,191	1,955,815	0,000613331
...						
15	1,058,191	1,955,815	0,97833	1,058,191	1,955,815	0,002856148
16	1,058,191	1,955,815	0,97545	1,058,191	1,955,815	0,003037882
17	1,058,191	1,955,815	0,97241	1,058,191	1,955,815	0,003219115
18	1,058,191	1,955,815	0,96919	1,058,191	1,955,815	0,003399878

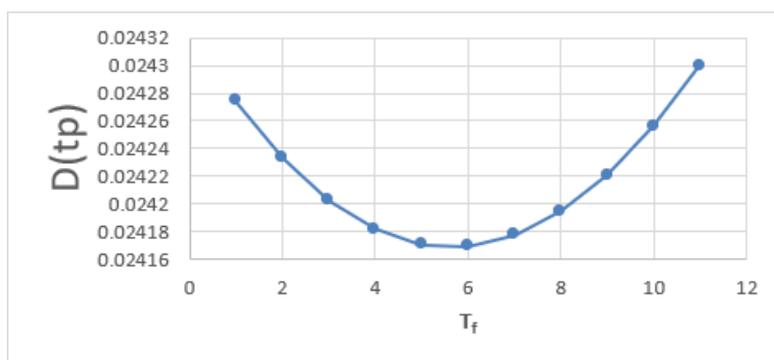
G. Penentuan Jadwal Perawatan Komponen Kritis pada Mesin Coater dengan Metode *Age replacement*

Perhitungan pergantian komponen dengan metode *age replacement* mengikuti formula $D(tp)$ yang tertera pada bab 2. Hasil dari penentuan jadwal dapat dilihat pada Tabel 10. Formula yang digunakan pada tahap ini yaitu formula (16) hingga (22).

Tabel 10. Perhitungan Penggantian Komponen Dengan Model Age Replacement

t_p	T_p	T_f	A	β	$F_{R(t_p)} = 1 - R(t_p)$	$R(t_p) = \exp(-M(t_p))$	$M(t_p) = (t_p/a)^\beta$	$1 - R(t_p)$	$D(t_p)$
1	0,9167	14,833	1,058,191,293	1,955,815	0	0,999890	0,000109731	0	0,478305172
2	0,9167	14,833	1,058,191,293	1,955,815	0	0,999574	0,000425683	0	0,314434145
3	0,9167	14,833	1,058,191,293	1,955,815	0	0,999060	0,000940781	0	0,234315439
...									
63	0,9167	14,833	1,058,191,293	1,955,815	0	0,695820	0,362663898	0	0,024181422
64	0,9167	14,833	1,058,191,293	1,955,815	0	0,687971	0,374008068	0	0,024170522
65	0,9167	14,833	1,058,191,293	1,955,815	0	0,680095	0,385522935	0	0,024169227
66	0,9167	14,833	1,058,191,293	1,955,815	0	0,672194	0,39720838	0	0,024177315
67	0,9167	14,833	1,058,191,293	1,955,815	0	0,664272	0,409064289	0	0,024194583
...									
288	0,9167	14,833	1,058,191,293	1,955,815	1	0	70,866,919	1	0,168421794
289	0,9167	14,833	1,058,191,293	1,955,815	1	0	7,134,897,643	1	0,167701819
290	0,9167	14,833	1,058,191,293	1,955,815	1	0	7,183,263,082	1	0,166977107

Pada Tabel 10 dapat dilihat bahwa *downtime* untuk penggantian komponen *Metering Bar* dilakukan pada jam (t_p) ke 65. Hal ini dapat dilihat pada nilai $D(t_p)$ yang mulai naik pada jam ke 66. Grafik *Downtime* $D(t_p)$ untuk *Metering Bar* dari hasil perhitungan pada Tabel 10 disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik *Downtime* $D(t_p)$ untuk Komponen *Metering Bar*

Penerapan sistem *maintenance* yang ada di perusahaan saat ini yaitu penggantian komponen *Metering Bar* baru akan diganti pada jam (t_p) ke 288. Hal ini lah yang menyebabkan terjadinya cacat *coating* tidak rata pada produk kertas *duplex board*, karena komponen tidak di ganti jauh dari waktu pertama terjadinya kerusakan. Penjabaran perhitungan untuk $t_p = 1$ adalah sebagai berikut:

- $$M(t_p) = \left(\frac{t_p}{\alpha}\right)^\beta$$

$$= \left(\frac{1}{105,8191293}\right)^{1,955815}$$

$$= 0,000109731$$

- $R(tp) = \exp\left(-\frac{tp}{\alpha}\right)^\beta$
 $= 0,999890$
- $F(tp) = 1 - R(60)$
 $= 1 - 0,999890$
 $= 0,0001$

$$D(tp) = \frac{D_p \cdot xRtp + D_f [1 - R(t_p)]}{(t_p + T_p)R(t_p) + [M(t_p) + T_f][1 - R(t_p)]} = 0,478305172$$

3.5. Menghitung Biaya

A. Perhitungan Biaya Perawatan Pencegahan (Cp)

Biaya perawatan adalah biaya yang harus dikeluarkan oleh PT.XYZ untuk memelihara, memperbaiki, dan mengganti komponen metering bar pada mesin coater untuk meningkatkan kualitas produk dan meminimalisasi biaya yang harus dikeluarkan akibat cacat produk. Data yang digunakan yaitu data hasil survei dan wawancara yaitu biaya Pembelian Komponen Penggantian (BPKP), biaya Tenaga Kerja Teknisi (BTKT), biaya operator menganggur (BOM), biaya Downtime Mesin (BDM). Berdasarkan beberapa kriteria diatas, maka perhitungan biaya perawatan pencegahan yaitu:

$$Cp = BPKP + BTKT + BOM + BDM \quad (23)$$

Adapun perhitungan biaya perawatan untuk metering bar adalah sebagai berikut:

1. Biaya Pembelian Komponen Pengganti (BPKP)
 $BPKP = \text{Harga Metering Bar} / \text{Unit}$
 $= \text{Rp. } 1.250.000$
 2. Biaya Tenaga Kerja Teknisi (BTKT)
 $BTKT = \text{Ongkos Tenaga Kerja/Jam} \times \text{Jumlah Tenaga Kerja} \times \text{Waktu Perawatan}$
 $= \text{Rp. } 15.767,55 \times 3 \text{ orang} \times 0,9167 \text{ jam}$
 $= \text{Rp. } 43.362$
 3. Biaya Operator Menganggur (BOM)
 $BOM = \text{Ongkos Tenaga Kerja/Jam} \times \text{Jumlah Tenaga Kerja} \times \text{Waktu perawatan}$
 $= \text{Rp. } 15.767,55 \times 3 \text{ orang} \times 0,9167 \text{ jam}$
 $= \text{Rp. } 43.362$
 4. Biaya Downtime Mesin (BDM)
 $BDM = \text{Keuntungan Yang Hilang/Jam} \times \text{Waktu Perawatan}$
 $= \text{Rp. } 59.530.055 \times 0,9167 \text{ jam}$
 $= \text{Rp. } 3.248.626$
- $$Cp = BPKP + BTKT + BOM + BDM$$
- $$= \text{Rp. } 1.250.000 + \text{Rp. } 43.362 + \text{Rp. } 43.362 + \text{Rp. } 3.248.626$$
- $$= \text{Rp. } 4.585.350$$

B. Perhitungan biaya Perawatan perbaikan (Cf)

Berdasarkan beberapa kriteria diatas, maka perhitungan biaya perawatan pencegahan yaitu:

$$Cf = BPKP + BTKT + BOM + BDM \quad (24)$$

Adapun perhitungan biaya perawatan untuk metering bar sebagai berikut:

1. Biaya Pembelian Komponen Pengganti (BPKP)
 $BPKP = \text{harga metering bar} / \text{unit}$
 $= \text{Rp. } 1.250.000$
2. Biaya tenaga kerja teknisi (BTKT)
 $BTKT = \text{Ongkos Tenaga Kerja/Jam} \times \text{Jumlah Tenaga Kerja} \times \text{Waktu Perawatan}$
 $= \text{Rp. } 15.767 \times 3 \text{ orang} \times 1,4833 \text{ jam}$
 $= \text{Rp. } 70.161$
3. Biaya Operator Menganggur (BOM)
 $BOM = \text{Ongkos Tenaga Kerja/Jam} \times \text{Jumlah Tenaga Kerja} \times \text{Waktu Perawatan}$
 $= \text{Rp. } 15.767 \times 3 \text{ orang} \times 1,4833 \text{ jam}$
 $= \text{Rp. } 70.161$

4. Biaya Downtime Mesin (BDM)
 BOM = Keuntungan Yang Hilang/Jam x Waktu Perawatan
 = Rp. 59.530.055 x 1,4833 jam
 = Rp. 88.283.071,56
 $Cf = BPKP + BTKT + BOM + BDM$
 = Rp. 1.250.000 + Rp. 70,161 + Rp. 70,161 + Rp. 88.283.071
 = Rp. 89.673.393

C. Menghitung Total Biaya Sesudah Tindakan Perawatan Pencegahan

Perhitungan total biaya sesudah dan sebelum dilakukan preventive maintenance dilakukan untuk mengukur tingkat manfaat yang diberikan dari penerapan sistem perawatan baru. Hasil penerapan preventive maintenance memberikan selisih yang lebih baik senilai Rp. 85.088.043,-. Perhitungan nilai tersebut dapat dilihat dari Tabel 11.

Tabel 11. Total Biaya Sesudah Tindakan Perawatan Pencegahan

Biaya	Sebelum	Sesudah
Biaya pergantian komponen	Rp 89.673.393	Rp 4.585.350
Biaya pembelian komponen	Rp 1.250.000	Rp 1.250.000
Biaya kerugian produksi	Rp 48.000.000	Rp 48.000.000
Total Biaya	Rp 138.923.393	Rp 53.835.350
Selisih	Rp	85.088.043

- Biaya pergantian komponen = Rp. 89.673.393
- Biaya pembelian komponen = Rp. 1.250.000
- Biaya kerugian produksi = Rp. 2.000.000/ton x 24 unit/jam
 = Rp. 48.000.000/ton

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengolahan data dapat disimpulkan bahwa sebaiknya perusahaan dapat mengganti komponen yang awalnya setiap 288 jam sekali menjadi 65 jam sekali. Hal ini membuat tingkat cacat produk kualitas dua dan kualitas tiga berkurang sehingga produk dengan kualitas satu jadi lebih banyak dan memberikan penghematan biaya sebesar Rp. 85.088.043. Meskipun metode preventive maintenance menyebabkan komponen jadi lebih sering diganti, tetapi produk kualitas satu akan lebih banyak, hal tersebut akan memberikan peningkatan jumlah pendapatan. Pendapatan yang dihasilkan dari perbaikan metode perawatan yaitu sebesar Rp. 218.336.000 dimana Rp. 131.184.000 didapat dari minimalisasi produk cacat kualitas 2 dan Rp. 87.152.000 dari minimalisasi produk cacat kualitas 3.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggraini, W., Fachri, M., Yola, M., & Harpito. (2020). *Reliability Centered Maintenance pada Komponen Kritis Mesin Press*. 6(2), 86–92.
- Atmaji, & Dwi, F. T. (2015). OPTIMASI JADWAL PERAWATAN PENCEGAHAN PADA MESIN TENUN UNIT SATU DI PT KSM, YOGYAKARTA. *Jurnal Rekayasa Sistem & Industri*, 711.
- Devani, V., & Maidila, C. N. (2021). Optimasi Penjadwalan dan Usulan Preventive Maintenance pada Mesin Turbin menggunakan Model Age Replacement. *Seminar Nasional Teknologi Informasi, Komunikasi Dan Industri (SNTKI) 13, November*, 216–223.
- Hidayat, T. P., & Sutoto, F. E. (2011). Usulan Penjadwalan Produksi yang Terintegrasi dengan Penjadwalan Maintenance (Studi Kasus PT. XYZ). *INASEA*, 12(1), 11–21.
- Losung, Y. H., Wenas, R. S., & Arie, F. V. (2022). PENGARUH KUALITAS PRODUK, IKLAN, DAN PERSEPSI HARGA TERHADAP KEPUASAN KONSUMEN PENGGUNA KARTU PRABAYAR TELKOMSEL DI KECAMATAN PASAN. *Jurnal EMBA*, 10(1), 401–411.

- Norina, R., & Puspita, H. D. (2017). Model Biaya Kualitas yang Terintegrasi dengan Prevention Costs. *Jurnal Sistem Industri*, 11(2), 99–116.
- Norina, R., & Puspita, H. D. (2018). No Title. *Sistemik*, 6(2), 71–78.
- Rahmadi, M., & Zetli, S. (2022). Analisis Total Preventive Maintenance Pada Mesin Drilling Koch di PT. XYZ. *Comasie*, 6(4), 69–78.
- Yusriski, R., Astuti, B., Ilham, M., & Zahedi. (2019). Integrated Batch Production and Multiple Preventive Maintenance Scheduling on A Single Machine to Minimize Total Actual Flow Time. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 598(1), 1–8. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/598/1/012083>
- Zamri, & Sirai, G. (2020). Analisis Penerapan Preventive Maintenance Mesin Printing di PT. ABC. *Comasie*, 6(4), 118–126.

Halaman Ini Dikosongkan