

Usulan Penjadwalan Perawatan Mesin *Filling* Secara *Preventive Dengan Modularity Design Dan LCC* Di PT. Petrosida

Tarisa Nindyas Sari

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik,
Universitas Pembangunan Nasional ‘Veteran’ Jawa Timur
Email : tarisa.nindyas@gmail.com

Endang Pudji W

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik,
Universitas Pembangunan Nasional ‘Veteran’ Jawa Timur
Email: endangp.ti@upnjatim.ac.id

Abstract. PT. Petrosida is a manufacturing company engaged in pesticide production. The production system in this company is Make To Order (MTO) where the company will produce products after an order or order from consumers. In its production PT. Petrosida has problems with the main tools used for packaging, one of which is a 1-liter induction semi-automatic filling machine in the herbicide unit, where treatment is carried out after damage to a component. Critical components in filling machines experience an average of 20 times damage in 2022-2023 and the machine maintenance process is still not optimal with an average downtime of 5 hours / month. Therefore, the purpose of research is to be able to carry out preventive maintenance using the modularity design method in the hope that there will be no more breakdowns that hamper the production process so as to reduce machine maintenance costs and to find out the minimum total machine maintenance cost planning using the life cycle cost (LCC) method. By implementing preventive maintenance with modularity design, the total maintenance cost of Rp. 9,747,782 is lower than the company's total maintenance cost of Rp. 23,023,176 with an efficiency rate of 42.3%. And obtained the lowest total life cycle cost of Rp. 340,459,348, - with an optimal life on the machine of 3 years & the number of mechanics one person.

Keywords: Life Cycle Cost, Modularity Design Preventive Maintenance.

Abstrak. PT. Petrosida ialah perusahaan manufaktur di bidang produksi pestisida. Sistem produksi pada perusahaan ini adalah *Make To Order* (MTO) yang mana perusahaan akan memproduksi produk sesudah adanya order / pesanan konsumen. Dalam produksinya PT. Petrosida memiliki kendala pada alat utama yang digunakan untuk pengemasan salah satunya yaitu mesin *filling semi otomatic* induksi 1 liter pada unit herbisida, dimana perawatan dilakukan setelah terjadinya kerusakan pada suatu komponen. Komponen – komponen kritis pada mesin *filling* mengalami rata-rata 20 kali kerusakan pada tahun 2022-2023 dan proses pemeliharaan mesin yang masih belum optimal dengan rata-rata waktu *downtime* sebesar 5 jam/bulan. Maka dari itu dilakukannya penelitian ini dengan tujuan dapat melakukan perawatan secara *preventive* menggunakan metode *modularity design* dengan harapan tak terdapat lagi *breakdown* yang menghambat proses produksi yang bisa mengurangi biaya perawatan mesin dan untuk mengetahui perencanaan total

Received Februari 23, 2023; Revised Maret 12, 2023; Accepted April 25, 2023

*Tarisa Nindyas Sari, tarisa.nindyas@gmail.com

biaya perawatan mesin yang minimum digunakan metode *life cycle cost* (LCC). Dengan mengaplikasikan *preventive maintenance* dengan *modularity design* diperoleh hasil total biaya perawatan Rp. 9.747.782,- lebih rendah dari total biaya perawatan perusahaan yaitu Rp. 23.023.176,- dengan tingkat efisiensi sebesar 42,3%. Dan didapatkan total biaya *life cycle cost* terendah yaitu sebesar Rp. 340.459.348,- dengan umur optimal pada mesin 3 tahun & jumlah mekanik satu orang.

Kata kunci: Biaya Siklus Hidup, Desain Modularitas, Pemeliharaan Preventif.

LATAR BELAKANG

Sektor industri ialah sektor yang mempunyai andil dalam keberlangsungan hidup manusia. Sektor Industri memiliki beberapa banyak macam, namun industri yang paling sering ditemui yaitu industri manufaktur. Salah satu aspek vital yang memungkinkan proses produksi kompetitif ialah perawatan dalam industri. Demi meraih hal tersebut, perawatan terencana & rutin haruslah selalu dilakukan pada fasilitas penunjang produksi.

PT. Petrosida ialah perusahaan manufaktur di bidang produksi pestisida. Perusahaan ini berdiri pada tahun 1984. Perusahaan ini memiliki beberapa mesin pada proses produksinya, umumnya digolongkan menjadi tahap *mixing* yang menggunakan mesin *mixer*, dan tahap pengemasan menggunakan mesin *filling*. Mesin *filling* ialah alat otomatis yang dipakai guna mengisi produk secara otomatis ke dalam kemasan yang berbentuk cairan. Alat ini secara otomatis bakal memudahkan dalam menuangkan cairan ke dalam botol & membantu menjaga ke higienisan produk.

PT. Petrosida menggunakan sistem produksi *Make-To-Order* (MTO) yang mana sesudah konsumen melakukan pemesanan maka produk akan diproduksi oleh perusahaan. PT. Petrosida Gresik memiliki kendala pada alat utama yang digunakan untuk pengemasan salah satunya yaitu mesin *filling semi otomatik* induksi 1 liter pada unit herbisida, dimana perawatan dilakukan setelah terjadinya kerusakan pada suatu komponen. Komponen – komponen yang tergolong dalam komponen kritis pada mesin *filling* diantaranya yakni *foto sensor*, *magnet field sensor*, *solenoid valve*, *relay* dan *pneumatik* yang mengalami rata-rata 20 kali kerusakan pada tahun 2022-2023. Proses pemeliharaan mesin yang masih belum optimal dengan rata-rata waktu *downtime* sebesar 5 jam/bulan, disebabkan masih belum terdapatnya tata cara pemeliharaan yang harus dijalankan.

Apabila metode perawatan pada perusahaan yang diterapkan oleh PT. Petrosida ini tidak diselesaikan dan terus terjadi seperti ini, maka perusahaan kemungkinan akan menghadapi masalah seperti terjadinya *breakdown* pada mesin produksi yang mengakibatkan berhentinya proses produksi. Keterlambatan produksi bakal berakibat fatal dan menimbulkan biaya tambahan yang bakal membuat perusahaan rugi. Maka dari itu, untuk memudahkan proses perawatan mesin, dibutuhkan sistem perawatan yang sesuai. Selain itu, perusahaan perlu sistem pemeliharaan yang lebih efisien & efektif guna mengurangi biaya pemeliharaan. Melalui penelitian ini akan diusulkan perawatan secara *preventive* menggunakan metode *modularity design* dengan harapan tak ada lagi *breakdown* yang bisa membuat proses produksi terhambat sehingga bisa mengurangi biaya perawatan mesin dan untuk mengetahui perencanaan total biaya perawatan mesin yang minimum digunakan metode *life cycle cost* (LCC).

KAJIAN TEORITIS

A. Sistem Pemeliharaan

Pemeliharaan ialah proses menjaga peralatan dan fasilitas pabrik serta melakukan penggantian / perbaikan yang dibutuhkan guna memastikan operasi produksi berjalan sesuai rencana & memuaskan [1].

B. Preventive Maintenance

Pemeliharaan pencegahan (*preventive maintenance*) yakni melalui penggantian & perbaikan bagian-bagian secara berkala menurut masa pemakaian. Dalam pemeliharaan pencegahan terdapat 3 (tiga) kegiatan/bagian, yaitu inspeksi, koreksi dan inisiasi kerja. Perawatan preventif terdiri dari inspeksi, perbaikan kecel, pelumasan & penyetelan untuk memastikan bahwa mesin & peralatan terlindung dari kerusakan saat digunakan [2].

C. Reliability (Keandalan)

Reliability ialah peluang suatu bagian produk / mesin bakal berfungsi dengan efektif dalam jangka waktu tertentu. Strategi keandalan melibatkan peningkatan komponen individual & memberikan redundansi.

$R(t)$ = keandalan sistem bila digunakan selama t satuan waktu.

= probabilitas sistem bisa berguna secara baik (tanpa ada kerusakan) selama penggunaan $[0,t]$

$$\begin{aligned}\text{Sehingga : } R(t) &= P(\text{peralatan beroperasi}) \\ &= P(x(t) = 1) \\ &= P(T > t) \\ &= 1 - P[T \leq t] \\ &= 1 - F(t)\end{aligned}$$

D. Interval Waktu Perawatan Optimal

Interval waktu perawatan yang jenis task tentukan yang dihasilkan dari setiap mode failure yang telah diidentifikasi sebelumnya.

1. *Scheduled On Condition Task*

Perhitungan interval untuk *scheduled on condition task* ialah $\frac{1}{2}$ P-F Interval dengan P-F Interval memakai asumsi data MTTF.

2. *Scheduled Restoration dan Scheduled Discard Task*

Perhitungan interval waktu perawatan kedua jenis *task* memakai persamaan:

$$TM = \eta \cdot \left(\frac{CM}{Cf(\beta-1)} \right)^{\frac{1}{\beta}} \quad (1)$$

E. MTTF dan MTTR

Mean Time To Failure (MTTF) ialah nilai rerata waktu kegagalan yang bakal datang melalui suatu sistem (komponen).

Rerata waktu kerusakan (MTTF) ialah:

$$E[T] = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt \quad (2)$$

Mean Time To Repair (MTTR) ialah jumlah rerata waktu yang diperlukan guna memeriksa / memperbaiki suatu unit / komponen sebelum dihidupkan / digunakan kembali.

Rata-rata waktu perbaikan (MTTR) adalah:

$$E[t] = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (3)$$

F. Biaya Pemeliharaan

Biaya pemeliharaan merupakan biaya yang dikeluarkan guna menjaga fungsionalitas peralatan modal dalam proses produksi [3]. Rumus berikut bisa dipakai guna menghitung biaya penggantian komponen akibat perawatan:

$$C_p = [(Biaya Operator + Biaya Mekanik) \times MTTR] + \text{Harga Komponen} \quad (4)$$

.Untuk menentukan biaya penggantian karena kerusakan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$C_f = [(Biaya Operator + Biaya Mekanik + Biaya Downtime) \times MTTR] + \text{Harga Komponen} \quad (5)$$

G. *Modularity Design*

Modularity ialah mengelompokkan komponen yang berbeda tetapi struktur fungsinya sama yang membuat proses penggantian & perbaikan komponen bisa lebih mudah. Dengan ini maka proses perakitan & manufaktur bakal lebih murah & sederhana. [4].

H. *Life Cycle Cost (LCC)*

Life Cycle Cost (LCC) ialah perhitungan dari jumlah perkiraan biaya untuk sebuah proyek / peralatan dari awal sampai akhir sebagaimana diputuskan oleh penelitian analitis & perkiraan total biaya yang dikeluarkan selama hidup [5].

1. *Sustaining Cost*

Sustaining cost ialah penjumlahan *annual operating cost*, *annual maintenance cost*, & *annual shortage cost*.

a. *Annual Operating Cost*

$$OC = EC + (LC \times TK) \quad (6)$$

b. *Annual Maintenance Cost*

$$MC = (C_r + C_l + C_c) \quad (7)$$

c. *Annual Shortage Cost*

$$SC = C_s [E(S)] \quad (8)$$

2. Acquisition Cost

Acquisition cost ialah penjumlahan *annual purchasing cost & annual population cost*.

a. Annual Purchasing Cost

$$\text{Annual purchasing cost} = P(A/P, I, n) \times N \quad (9)$$

b. Annual Population Cost

Population cost diperoleh melalui *annual equivalent cost* per unit dikalikan jumlah unit perangkatnya. *Equivalent cost* ialah selisih *purchasing cost* dengan *book value* [7].

$$PC = C_i \times N \quad (10)$$

$$C_i = P(A/P, I, n) - B(A/F, I, n) \quad (11)$$

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode *Modularity Design* dan *Life Cycle Cost (LCC)*. Studi literatur yang dilakukan adalah dengan mempelajari literatur yang tepat sesuai permasalahan yang sedang dialami sehingga mendapatkan referensi yang menguatkan temuan studi yang didapatkan. Selain itu dilakukan pula wawancara dengan operator/karyawan yang terkait dengan objek yang diteliti dan pengamatan langsung di perusahaan PT. Petrosida.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan melalui perhitungan biaya perawatan awal pada perusahaan & perhitungan biaya perawatan melalui LCC & *modularity design*.

1. Biaya Perawatan Pada Perusahaan

Biaya perawatan pada perusahaan didapatkan melalui hasil penjumlahan antara total biaya perawatan komponen dan kerugian pada masing-masing komponen.

a) Biaya Perawatan Komponen

Berdasar pada data informasi perusahaan dalam biaya perawatan komponen bisa dilihat di tabel di bawah:

Tabel 1. Biaya Perawatan Komponen Mesin Filling Pada Perusahaan

No.	Komponen	Sub-Komponen	Harga/unit
1.	<i>Foto sensor</i>	<i>Foto sensor</i>	Rp. 4.200.000
2.	<i>Magnet field sensor</i>	<i>Magnet field sensor</i>	Rp. 1.628.000
3.	<i>Solenoid valve</i>	<i>Valve body</i>	Rp. 680.000
		<i>Coil (kumparan)</i>	Rp. 422.000
4.	<i>Relay</i>	<i>Piston (plunger)</i>	Rp. 976.000
		<i>Koil</i>	Rp. 125.000
5.	<i>Pneumatik</i>	<i>Kontak</i>	Rp. 75.000
		<i>Solenoid valve</i>	Rp. 415.000
		<i>Saklar sensor</i>	Rp. 84.000
		<i>silinder</i>	Rp. 1.001.000
Total			Rp. 10.178.000

Sumber: Data Rill Perusahaan (2023)

b) Perhitungan Biaya Tenaga Kerja dan Biaya *Downtime*

Berdasar data yang dikumpulkan, perhitungan biaya *downtime* & biaya tenaga kerja bisa dilihat di tabel 2:

Tabel 2. Kerugian Masing-Masing Komponen

No.	Komponen	Kerugian Akibat <i>Downtime</i>	Kerugian Akibat Operator Mengganggu	Biaya Mekanik
1.	<i>Relay</i>	307.500	83.484	65.651
2.	<i>Solenoid valve</i>	585.000	158.823	124.897
3.	<i>Foto sensor</i>	490.000	133.031	104.615
4.	<i>Magnet field sensor</i>	477.500	129.638	101.946
5.	<i>Solenoid valve</i>	292.500	79.411	62.448
6.	<i>Foto sensor</i>	477.500	129.638	101.946
7.	<i>Pneumatik</i>	552.500	150.000	117.958
8.	<i>Magnet field sensor</i>	495.000	134.389	105.682
9.	<i>Solenoid valve</i>	257.500	69.909	54.976
10.	<i>Foto sensor</i>	430.000	116.742	91.805
11.	<i>Relay</i>	237.500	64.479	50.706
12.	<i>Foto sensor</i>	467.500	126.923	99.811
13.	<i>Pneumatik</i>	462.500	125.565	98.743
14.	<i>Magnet field sensor</i>	465.000	126.244	99.277
15.	<i>Foto sensor</i>	495.000	134.389	105.682
16.	<i>Pneumatik</i>	225.000	61.086	48.037
17.	<i>Solenoid valve</i>	602.500	163.574	128.633
18.	<i>Magnet field sensor</i>	475.000	128.959	101.412
19.	<i>Foto Sensor</i>	472.500	128.280	100.878
20.	<i>Relay</i>	382.500	103.846	81.663
Total		8.650.000	2.348.410	1.846.766

Sumber: Data Diolah

c) Total Biaya Perawatan Pada Perusahaan

Hasil perhitungan total biaya perawatan perusahaan (TC Awal) ialah:

$$\begin{aligned}
 \text{TC Awal} &= \text{Total Biaya Perawatan} + \text{Kerugian Akibat Downtime} + \text{Kerugian Akibat} \\
 &\quad \text{Operator Menganggur} + \text{Biaya Mekanik} \\
 &= \text{Rp. } 10.178.000 + \text{Rp. } 8.650.000 + \text{Rp. } 2.348.410 + \text{Rp. } 1.846.766 \\
 &= \text{Rp. } 23.023.176
 \end{aligned}$$

2. Perhitungan Biaya Perawatan Dengan Metode Modularity Design

a. Pengelompokan Komponen Kritis Menurut Modularity Design

Pengelompokan komponen kritis menjadi modul-modul sesuai dengan fungsi & strukturnya yakni:

Tabel 3. Modul Komponen Mesin Filling

Modul	Fungsi	Komponen
Modul 1	Berfungsi untuk mendeteksi pergerakan suatu objek.	Foto sensor Magnet field sensor
Modul 2	Pengoperasiannya (buka/tutup) yang memanfaatkan pergerakan medan magnet.	Piston Solenoid valve Silinder
Modul 3	Saklar pemutus arus listrik.	Kontak relay Saklar sensor
Modul 4	Berfungsi sebagai penghasil medan magnet.	Coil (kumparan) Koil
Modul 5	Sebagai frame utama yang berisi komponen-komponen utama valve.	Valve Body

Sumber: Data Diolah

b. Uji Kesesuaian Distribusi Data Kerusakan

Berikutnya, pengujian distribusi melalui *Software Minitab 19*. Berikut ini ialah tabel hasil uji distribusi di setiap modul.

Tabel 5. Hasil Pengujian Distribusi Berdasarkan Data *Downtime*

No.	Komponen	Jenis Distribusi	Parameter	
			Data Downtime	Waktu Antar Kerusakan
1.	Modul 1	Weibull	Shape (β) = 36,0343 Scale (η) = 192,883	Shape (β) = 3,98985 Scale (η) = 111260
2.	Modul 2	Weibull	Shape (β) = 3,32711 Scale (η) = 189,074	Shape (β) = 2,33481 Scale (η) = 144272
3.	Modul 3	Weibull	Shape (β) = 3,36382 Scale (η) = 161,444	Shape (β) = 2,37115 Scale (η) = 228743
4.	Modul 4	Weibull	Shape (β) = 2,90870 Scale (η) = 171,433	Shape (β) = 2,24963 Scale (η) = 216290
5.	Modul 5	Weibull	Shape (β) = 3,10567 Scale (η) = 195,540	Shape (β) = 2,29852 Scale (η) = 149081

Sumber: Data Diolah

c. Perhitungan MTTF dan MTTR

Perhitungan *Mean Time To Failure* (MTTF) & *Mean Time To Repair* (MTTR)

dihitung memakai rumus $MTTR/MTTF = \eta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right)$.

Tabel 7. Perhitungan MTTF dan MTTR

No.	Komponen	MTTR (menit)	MTTF (menit)
1.	Modul 1	189,7100	100,846.064
2.	Modul 2	169,6882	127,876.93
3.	Modul 3	145,1446	258,059.931
4.	Modul 4	152,9555	191,591.845
5.	Modul 5	174,9379	132,091.729

Sumber: Data Diolah

d. Perhitungan Biaya Penggantian Komponen Karena Perawatan (Cp) dan Biaya Penggantian Komponen Karena Kerusakan (Cf)

1. Biaya penggantian komponen karena perawatan (Cp)

Biaya ini mencakup harga komponen, biaya tenaga kerja mekanik / *maintenance*, & tenaga kerja operator.

Tabel 8. Biaya penggantian komponen karena perawatan (Cp)

Modul	Komponen	MTTR	Cp	Cp Modul
Modul 1	<i>Foto sensor</i>	189,7100	Rp. 865.638	Rp. 1.438.276
	<i>Magnet field sensor</i>		Rp. 572.638	
Modul 2	<i>Piston</i>	169,6882	Rp. 1.124.157	Rp. 2.836.471
	<i>Solenoid valve</i>		Rp. 563.157	
	<i>Silinder</i>		Rp. 1.149.157	
Modul 3	<i>Kontak relay</i>	145,1446	Rp. 201.728	Rp. 412.456
	<i>Saklar sensor</i>		Rp. 210.728	
Modul 4	<i>Coil (kumparan)</i>	152,9555	Rp. 344.547	Rp. 603.094
	<i>Koil</i>		Rp. 258.547	
Modul 5	<i>Valve Body</i>	174,9379	Rp. 832.741	Rp. 832.741

Sumber: Data Diolah

2. Biaya penggantian komponen karena kerusakan (Cf)

Biaya mencakup harga komponen, biaya *downtime*, biaya mekanik, & biaya operator, yang mana semua biaya tersebut ialah kerugian yang disebabkan oleh kerusakan komponen.

Tabel 9. Biaya penggantian komponen karena kerusakan (Cf)

Modul	Komponen	MTTR	Cf	Cf Modul
Modul 1	<i>Foto sensor</i>	189,7100	Rp. 2.446.555	Rp. 4.415.780
	<i>Magnet field sensor</i>		Rp. 1.969.225	
Modul 2	<i>Piston</i>	169,6882	Rp. 2.538.225	Rp. 7.078.675
	<i>Solenoid valve</i>		Rp. 1.977.225	
	<i>Silinder</i>		Rp. 2.563.225	
Modul 3	<i>Kontak relay</i>	145,1446	Rp. 1.411.266	Rp. 2.831.532
	<i>Saklar sensor</i>		Rp. 1.420.266	
Modul 4	<i>Coil (kumparan)</i>	152,9555	Rp. 1.619.177	Rp. 3.152.354
	<i>Koil</i>		Rp. 1.533.177	
Modul 5	<i>Valve Body</i>	174,9379	Rp. 2.290.557	Rp. 2.290.557

Sumber: Data Diolah

e. Menghitung Interval Waktu Perawatan (TM)

Perhitungan interval waktu perawatan ini mencakup waktu antar perawatan dari nilai *scale* (η) & nilai *Shape* (β), biaya penggantian komponen sebab kerusakan (Cf), & perawatan (Cp).

Tabel 10. Interval Waktu Perawatan

Komponen	Parameter		Cp	Cf	TM (menit)
	Shape (β)	Scale (η)			
Modul 1	3,98985	111260	Rp. 1.438.276	Rp. 4.415.780	63.829
Modul 2	2,33481	144272	Rp. 2.836.471	Rp. 7.078.675	86.169
Modul 3	2,37115	228743	Rp. 412.456	Rp. 2.831.532	88.856
Modul 4	2,24963	216290	Rp. 603.094	Rp. 3.152.354	93.916
Modul 5	2,29852	149081	Rp. 832.741	Rp. 2.290.557	85.681

Sumber: Data Diolah

f. Perhitungan Total Biaya Perawatan Dengan Metode *Modularity Design*

Total biaya perawatan dihitung memakai satuan menit, maka berdasar data yang berdistribusi *weibull* maka total biaya perawatannya disajikan di tabel 11:

Tabel 11. Rekapitulasi Perhitungan Tc

Komponen	TC (Rp/Menit)
Modul 1	30,06 menit
Modul 2	57,57 menit
Modul 3	8,02 menit
Modul 4	11,56 menit
Modul 5	17,20 menit

Sumber: Data Diolah

Sehingga diperoleh total biaya perawatan per tahunnya yang disajikan di tabel 12:

Tabel 12. Perhitungan Total Biaya per-Tahun Menggunakan *Modularity Design*

Modul	Total Biaya (Rupiah/Tahun)
Modul 1	Rp. 5.874.958
Modul 2	Rp. 2.451.587
Modul 3	Rp. 165.885
Modul 4	Rp. 556.895
Modul 5	Rp. 698.457
Total	Rp. 9.747.782

Sumber: Data Diolah

Total biaya perawatan mesin *filling* yang dihitung memakai *modularity design* ialah Rp. 9.747.782,- per tahun.

3. Perhitungan Metode *Life Cycle Cost*

a. *Sustaining Cost*

Sustaining cost ialah pengeluaran biaya kepemilikan sebuah perangkat selama waktu tertentu.

1. Perhitungan *Operating Cost*

Operating cost dihitung dalam 10 tahun kedepan memakai data inflasi tahun 2023 yakni 4,97% (BI) untuk biaya energi & kenaikan gaji 5% tiap tahunnya sesuai kebijakan perusahaan.

Tabel 13. *Annual Operating Cost* untuk M=1

Umur (n)	Biaya tenaga kerja	Biaya energi	<i>Operating Cost</i>
1	Rp. 61.488.000	Rp. 128.332.800	Rp. 189.820.800
2	Rp. 64.562.400	Rp. 134.710.940	Rp. 199.273.340
3	Rp. 67.790.520	Rp. 141.406.073	Rp. 209.196.594
4	Rp. 71.180.046	Rp. 148.433.955	Rp. 219.614.002
5	Rp. 74.739.048	Rp. 155.811.123	Rp. 230.550.172
6	Rp. 78.476.000	Rp. 163.554.936	Rp. 242.030.937
7	Rp. 82.399.800	Rp. 171.683.616	Rp. 254.083.417
8	Rp. 86.519.790	Rp. 180.216.292	Rp. 266.736.083
9	Rp. 90.845.779	Rp. 189.173.042	Rp. 280.018.822
10	Rp. 95.388.068	Rp. 198.574.942	Rp. 293.963.012

Sumber: Data Diolah

2. Perhitungan *Maintenance Cost*

Maintenance cost dapat dihitung dengan biaya konsumsi, biaya penggantian komponen, & biaya tenaga kerja. Dalam biaya tenaga kerja terdapat kenaikan gaji tiap tahun sebesar 5% sesuai kebijakan perusahaan. Untuk M=1 dikondisikan jumlah mekanik 1 orang dan M=2 dikondisikan 2 orang.

Tabel 15. *Maintenance Cost*

Umur (n)	Jumlah Mekanik (M)	
	1	2
1	Rp. 73.166.000	Rp. 134.654.000
2	Rp. 76.240.400	Rp. 134.654.000
3	Rp. 79.468.520	Rp. 140.802.800
4	Rp. 82.858.046	Rp. 147.259.040
5	Rp. 86.417.048	Rp. 154.038.092
6	Rp. 90.154.001	Rp. 161.156.097
7	Rp. 94.077.801	Rp. 168.630.001
8	Rp. 98.197.791	Rp. 176.477.602
9	Rp. 102.523.780	Rp. 184.717.582
10	Rp. 107.066.069	Rp. 193.369.561

Sumber: Data Diolah

3. Perhitungan *Shortage Cost*

Shortage cost melalui perhitungan perkalian antara estimasi mesin tak diperbaiki dengan jumlah *potential loss*/jam disebabkan mesin ada kerusakan.

Tabel 16. *Shortage Cost*

Umur (n)	<i>Shortage Cost</i> (M=1)	<i>Shortage Cost</i> (M=2)
1	Rp. 61.575	Rp. 30.679
2	Rp. 68.097	Rp. 33.927
3	Rp. 75.314	Rp. 29.623
4	Rp. 83.301	Rp. 41.490
5	Rp. 92.140	Rp. 45.877
6	Rp. 101.924	Rp. 50.729
7	Rp. 112.754	Rp. 56.387
8	Rp. 124.743	Rp. 62.037
9	Rp. 138.017	Rp. 68.609
10	Rp. 152.715	Rp. 75.880

Sumber: Data Diolah

4. Perhitungan *Sustaining Cost*

Sustaining cost diperoleh perjumlahan antara *operating cost* + *maintenance cost* + *shortage cost*.

Tabel 17. Hasil *Sustaining Cost*

Umur (n)	<i>Sustaining Cost</i> (M=1)	<i>Sustaining Cost</i> (M=2)
1	Rp. 263.048.375	Rp. 385.993.479
2	Rp. 275.581.837	Rp. 398.523.667
3	Rp. 288.740.428	Rp. 417.819.537
4	Rp. 302.555.349	Rp. 438.094.578
5	Rp. 317.059.360	Rp. 459.373.189
6	Rp. 332.286.862	Rp. 481.713.764
7	Rp. 348.273.972	Rp. 505.169.606
8	Rp. 365.058.617	Rp. 529.795.513
9	Rp. 382.680.619	Rp. 555.650.794
10	Rp. 401.181.796	Rp. 582.796.522

b. Acquisition Cost

Acquisition cost pengeluaran biaya di awal pembelian mesin/sistem. *Acquisition cost* ialah penjumlahan dari *purchasing cost & population cost*.

Tabel 20. Hasil *Acquisition Cost*

Umur (n)	<i>Purchasing Cost</i>	<i>Population Cost</i>	<i>Acquisition Cost</i>
1	Rp. 63.961.200	Rp. 69.535.800	Rp. 133.497.000
2	Rp. 33.330.240	Rp. 38.594.546	Rp. 71.924.786
3	Rp. 23.178.600	Rp. 28.540.320	Rp. 51.718.920
4	Rp. 18.132.120	Rp. 23.660.586	Rp. 41.792.706
5	Rp. 15.080.760	Rp. 20.741.785	Rp. 35.822.545
6	Rp. 13.085.640	Rp. 18.916.372	Rp. 32.002.012
7	Rp. 11.677.320	Rp. 17.670.362	Rp. 29.347.682
8	Rp. 10.621.080	Rp. 16.752.664	Rp. 27.373.744
9	Rp 9.799.560	Rp. 16.047.967	Rp. 25.847.527
10	Rp. 9.212.760	Rp. 15.632.376	Rp. 24.845.136

Sumber: Data Diolah

4. Penentuan Umur Mesin, Jumlah Mekanik dan Total Biaya Berdasarkan Metode *Life Cycle Cost*

Total *Life Cycle Cost* ialah perhitungan total *cost* dari awal biaya pembelian hingga akhir umur mesin. Dalam penghitungan Total *Life Cycle Cost* dibutuhkan nilai *acquisition cost & sustaining cost*

Tabel 21. Penentuan Umur Mesin, Jumlah Mekanik & Total Biaya Berdasarkan Metode *Life Cycle Cost*

Umur (n)	<i>Life Cycle Cost</i>	
	M=1	M=2
1	Rp. 396.545.375	Rp. 519.490.479
2	Rp. 347.506.623	Rp. 470.448.453
3	Rp. 340.459.348	Rp. 469.538.458
4	Rp. 344.348.055	Rp. 479.887.285
5	Rp. 352.881.905	Rp. 495.195.735
6	Rp. 364.288.874	Rp. 513.715.776
7	Rp. 377.621.654	Rp. 534.517.289
8	Rp. 392.432.361	Rp. 557.169.258
9	Rp. 408.528.146	Rp. 581.498.321
10	Rp. 426.026.932	Rp. 607.641.659

Sumber: Data Diolah

Dari tabel tersebut bisa dilihat jika total *life cycle cost* dengan nilai terkecil ada di jumlah mekaik (M) = 1, tahun (n) = 3 dengan total *cost* Rp. 340.459.348,-.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasar pada hasil perhitungan biaya perawatan mesin *filling* di PT. Petrosida bisa dimengerti jika metode perawatan *modularity design* mempunyai total biaya perawatan per tahun-nya Rp. 9.747.782,- lebih rendah dari total biaya perawatan perusahaan yaitu Rp. 23.023.176,- dengan tingkat efisiensi sebesar 42,3%. Dan didapatkan total biaya menggunakan pada mesin *filling* di PT. Petrosida, dengan total *life cycle cost* terendah sebesar Rp. 340.459.348,- dengan umur optimal pada mesin 3 tahun & jumlah mekanik satu orang.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, G. N. (2018). *Manajemen Operasi*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Arsyad, M., & Ahmad Z. 2018. *Manajemen Perawatan*. Yogyakarta : Deepublish.
- Badar, M., Endang B., & Judi A. (2018). Analisis Performansi Mesin Menggunakan Metode Reliability, Availability, Maintenance (RAM) Analysis dan Penentuan Umur Mesin Serta Maintenance Set Crew Optimal Menggunakan Life Cycle Cost (LCC) Analysis Pada Mesin Dumping Line 1 di PT. XYZ. *E-Proceeding of Engineering*, 5(2) 2553.
- Cahyadi, I. P. (2021). Analisis Reliabilitas, Laju Kerusakan, Dan Analisis Biaya Pada Mesin Penenun Menggunakan Metode LCC di PT XYZ Mojokerto. *Jurnal Manajemen Industri dan Teknologi*, 2(3) 83-94.
- Dzulyadain, H., Endang B., & Fransiskus T.D.A. (2020). Usulan Kebijakan Perawatan Pada Mesin Press di PT XYZ Menggunakan Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM II) Dan Analisis FMECA. *E-Proceeding of Engineering*, 7(2), 6528.
- Fauziah, S. I. (2019). Analisis Sistem Pemeliharaan Mesin Rajut dengan Metode *Preventive* dan *Breakdown* untuk Meminimumkan Biaya Pemeliharaan Mesin Rajut di PT X. *Prosiding Manajemen*, 5(1), 434-441.
- Hani, T. M. (2019). *Perhitungan Unit Cost (UC) dan Penyusunan Tarif Rumah Sakit dengan Metode Double Distribution (DD)*. Yogyakarta: Deepublish.
- Irwanto. (2020). Sistem Maintenance Transformator 60 MVA Pada Electric ARC Furnace (EAF) 7 Slab Steel Plant. *Journal of Mechanical Engineering and Mechatronics*, 5(2), 75-89.
- Muliawati, P. R., Endang B., & Fransiskus T.D.A. (2019). Penentuan Umur Mesin, Estimasi Biaya Dan *Maintenance Crew* Yang Optimal Pada Mesin Injeksi Plastik Dengan Menggunakan Metode Life Cycle Cost (LCC) Di CV. Gradient. *E-Proceeding of Engineering*, 6(2), 6460.
- Purwantono, Remon L., & Andre K. (2020). *Turbin Air Pengantar dan Aplikasinya di Lapangan*. Padang: UNP Press.

- Putra N. D., Husein H. M. S., & Asngadi. (2019). Analisis Pemeliharaan Mesin Produksi Pada PT. Haycarb Palu Mitra. *Jurnal Ilmu Manajemen Universitas Tadulako*, 5(1), 61-68.
- Putri, N. T., Taufik, & Filly S. B. (2020). Preventive Maintenance Scheduling by Modularity Design Applied to Limestone Crusher Machine. *Jurnal Science*, 43, 682-687. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.123>.
- Ritonga, D.A.A. (2019). Penentuan Waktu Preventive Maintenance Turbin Dengan Metode Criticality Analysis Pada PLTA Sipansihaporas. *Jurnal Simetri Rekayasa*, 1(2), 58-65.
- Rosyidi, R., & Endang P. W. (2020). Usulan Perawatan Preventif Mesin Web Rotary Offset Printing Dengan Menggunakan Metode Modularity Design di PT. XYZ. *Jurnal Manajemen Industri dan Teknologi*, 1(6), 133-144.
- Sulistyo A. B., & Sibro M. (2022). Optimasi Perawatan Mesin Overhead Crane Pada PT. KNS Dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) dan Failure Mode And Effect Analysis (FMEA). *Jurnal InTent*, 5(2), 27-35.
- Suwono, A. Z. Z., & Endang P. W. (2020). Penerapan Metode Modularity Design Pada Perawatan Mesin Mixer Secara Preventive Maintenance di PT XYZ. *Jurnal Manajemen Industri dan Teknologi*, 1(6), 37-48.
- Tilammura, F. A., Endang B. & Fransiskus T. D. A. (2019). Analisis Total Biaya Dan Umur Mesin Menggunakan Metode Life Cycle Cost, Analisis Sensitivitas, Dan Analisis Regresi Pada Seluruh Mesin Tower Di PT. Pikiran Rakyat. *E-Proceeding of Engineering*, 6(2), 6203.
- Wijaya A., dkk. (2020). *Manajemen Operasi Produksi*. Medan: Yayasan Kita Menulis.
- Yulius, H., & Freddy T. S. (2020). Usulan Biaya Preventive Maintenance Dengan Menggunakan Metode Modularity Design Pada Mesin Ripple Mill di PT. Incasi Raya POM. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 20(2), 221-227.
- Zamani, A. B., & Moch. N., & Said S. D. (2023). Penentuan Interval Penggantian Komponen Mesin Pengayakan Batu Bara Menggunakan Metode Age Replacement. *Jurnal Serambi Engineering*, VIII(1), 4321-4352.