

PENJADWALAN PERAWATAN PREVENTIF DAN WAKTU PENGGANTIAN MESIN HULLER DENGAN METODE AGE REPLACEMENT DAN THERBOGH'S MODEL

Endang Widuri Asih¹, Imam Sodikin², Dara Sagita Triski³

^{1,2,3}Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

e-mail : ¹endang.akprind@gmail.com, ²imam@akprind.ac.id, ³Darasagita@gmail.com

ABSTRACT

Koperasi Tani Kayo is a company engaged in the production of arabica and robusta coffee typical of Sungai Penuh City. Currently, the company is still implementing a corrective maintenance system on the huller machine, there is no organized machine maintenance schedule so that the machine still has a very high chance of damage during the production process. The purpose of this study is to determine the critical components, determine the time interval for the replacement of critical components, minimize maintenance costs, and determine the time to implement replacement policies for machines. The method used in this study is Age Replacement to determine the optimal critical component replacement scheduling interval, and Therbogh's Model to determine the time for machine replacement. The results of the ABC method and the Pareto diagram show that there are four critical components, namely a roller, a belt, a thin iron mill, and a shaft. Based on the Age Replacement method, there are two suggestions of optimal component replacement intervals based on historical data of damage and component life standards. The results of the intervals were 14, 7, 2, and 3 (days). The results of the second proposed intervals are 59, 99, 7, and 49 (days). The percentage of maintenance cost savings for each component ranged from 82% -99% in the first proposal and 34% -97% in the second scheduling proposal. Based on Therbogh's model analysis, the value of the uniform annual equivalent (UAE) of the new machine is IDR 6,852,143 less than the total cost of the old machine in the 8th period or 2019, which is IDR 7,260,000.

Keywords : Critical Components, Preventive Care, Age Replacement, Therbogh's Model

INTISARI

Koperasi Tani Kayo adalah sebuah perusahaan yang bergerak di bidang produksi kopi arabica dan robusta khas Kota Sungai Penuh. Saat ini perusahaan masih menerapkan sistem perawatan korektif pada mesin huller, belum ada penjadwalan perawatan mesin yang terorganisir sehingga mesin masih sangat berpeluang untuk terjadi kerusakan pada saat proses produksi. Tujuan dari kajian ini adalah menentukan komponen kritis, menentukan interval waktu penggantian komponen kritis, meminimalkan biaya perawatan, dan menentukan waktu untuk penerapan kebijakan penggantian terhadap mesin. Metode yang digunakan dalam kajian ini adalah Age Replacement untuk mengetahui interval penjadwalan penggantian komponen kritis yang optimal, dan Therbogh's Model untuk mengetahui waktu untuk penggantian mesin. Hasil dari metode ABC dan diagram pareto diketahui empat komponen kritis yaitu roller, belt, besi tipis penggilas, dan poros. Berdasarkan metode Age Replacement diperoleh dua usulan interval penjadwalan penggantian optimal komponen berdasarkan data historis kerusakan dan standar umur pakai komponen. Hasil intervalnya adalah 14, 7, 2, dan 3 (hari). Hasil interval usulan kedua adalah 59, 99, 7, dan 49 (hari). Persentase penghematan biaya perawatan masing-masing komponen ada berkisar antara 82%-99% pada usulan pertama dan 34%-97% pada usulan penjadwalan kedua. Berdasarkan analisis Therbogh's model diperoleh nilai uniform annual equivalent (UAE) mesin baru sebesar Rp 6.852.143 lebih kecil dari biaya total mesin lama pada periode ke 8 atau tahun 2019 yakni sebesar Rp 7.260.000.

Kata kunci: Komponen kritis, Perawatan Preventif, Age Replacement, Therbogh's Model

1. PENDAHULUAN

Perkembangan industri yang pesat saat ini, menimbulkan banyak persaingan yang menuntut peningkatan kinerja pengoperasian produksi. Hal ini dilakukan agar mampu menghadapi persaingan dalam hal kualitas, kecepatan pemenuhan permintaan konsumen, dan harga yang kompetitif. Salah satu upaya untuk meningkatkan kinerja pengoperasian dan kelancaran arus produksi yaitu dengan dilakukannya pemeliharaan dan perawatan mesin yang konsisten agar dapat meningkatkan efisiensi dan produktivitas mesin. Pemeliharaan dan perawatan mesin dan peralatan di perusahaan menentukan kelancaran dari proses produksi yang berlangsung. Perawatan yang baik adalah perawatan yang dilakukan sebelum mesin mengalami kerusakan, sehingga perlu adanya penjadwalan yang tepat agar perawatan preventif yang dilakukan benar-benar mencegah dan mengembalikan performa mesin yang optimal.

Koperasi Tani Kayo di Desa Sungai Ning, Kecamatan Sungai Bungkal Kota Sungai Penuh Jambi adalah perusahaan pengolahan kopi *arabica* dan *robusta* khas Sungai Penuh. Kapasitas produksi dari perusahaan ini cukup besar dan permintaan pasar selalu meningkat, dengan adanya peningkatan kapasitas produksi setiap tahunnya, perusahaan juga harus meningkatkan produktivitas dari mesin dan peralatan yang digunakan agar proses produksi

selalu berjalan dengan lancar. Perusahaan sering mengalami gangguan pada beberapa mesin, terutama mesin *huller*. Penyebab kerusakan mesin diantaranya adalah keadaan mesin yang terlalu panas dan kerusakan yang terjadi pada beberapa komponen mesin. Agar proses produksi berjalan dengan lancar perlu adanya penjadwalan perawatan preventif untuk penggantian komponen mesin *huller*. Metode penjadwalan perawatan preventif yang bisa diterapkan di perusahaan adalah metode *age replacement*. *Age replacement* merupakan salah satu bentuk metode penentuan interval waktu penggantian pencegahan optimal, dan *Therboogh's Model* untuk mengidentifikasi umur ekonomis dan nilai sisa dari mesin *huller*, agar mengetahui waktu yang tepat untuk penggantian mesin.

2. METODE PENELITIAN

Langkah-langkah yang dilakukan dalam kajian ini adalah sebagai berikut:

1. Penentuan Komponen Kritis
Penentuan komponen kritis pada mesin *huller* mengacu pada metode ABC dan prinsip pareto.
2. Perhitungan Selang Waktu Antar Kerusakan
Perhitungan dilakukan dengan menghitung selisih waktu antar kerusakan yang terjadi.
3. Pengujian *Index Of Fit (r)* Dari Data Historis dan Penentuan Parameter
Perhitungan nilai *index of fit* menggunakan *software minitab 16*. Pendugaan distribusi data selang waktu antar kerusakan berdasarkan nilai *index of fit* terbesar pada masing-masing komponen kritis. Jenis distribusi yang digunakan dalam kajian ini adalah distribusi *weibull*, lognormal, normal, dan eksponensial. Penentuan parameter mengikuti hasil pendugaan distribusi terpilih.
4. Perhitungan Uji Kebaikan Suai (*Goodness Of Fit*)
Uji hipotesa *goodness of fit* terhadap data distribusi selang waktu antar kerusakan pada masing-masing komponen kritis. Pengujian kesesuaian ini dilakukan untuk membuktikan data mengikuti salah satu dari karakteristik distribusi yang dipilih.
5. Perhitungan Nilai *Mean Time To Failure (MTTF)*
Perhitungan nilai MTTF menggunakan rumus yang sesuai dengan parameter distribusi kerusakan terpilih.
6. Perhitungan Biaya Kerusakan Dan Pencegahan
Perhitungan biaya kerusakan dan pencegahan dengan cara menjumlahkan biaya yang dikeluarkan perusahaan saat komponen mengalami kerusakan.
7. Perhitungan Interval Waktu Optimal Penggantian Pencegahan Dengan Metode *Age Replacement* Berdasarkan Data Historis Kerusakan
Perhitungan dengan metode ini adalah untuk menentukan nilai penggantian optimal berdasarkan ekpektasi biaya perawatan terkecil. Perhitungan berdasarkan data historis kerusakan dijadikan usulan 1 (pertama) dalam kajian ini.
8. Perhitungan Interval Waktu Optimal Penggantian Pencegahan Dengan Metode *Age Replacement* Berdasarkan Standar Umur Pakai (*Mean Life*) Komponen
Perhitungan berdasarkan standar umur pakai komponen sebagai perbandingan hasil dari usulan 1 (pertama) perhitungan ini dijadikan usulan 2 (kedua) dalam kajian ini.
9. Perbandingan Biaya Perawatan Saat Ini (Perusahaan) Dan Biaya Usulan
Perhitungan biaya usulan berdasarkan ekpektasi biaya perawatan per hari dari perhitungan pada langkah 7 dibandingkan dengan biaya perawatan yang ada di perusahaan sesuai dengan langkah 6.
10. Perhitungan Ketersediaan (*Availability*) Komponen Kritis
Perhitungan nilai *availability* digunakan untuk mengetahui berapa peluang keberhasilan atau ketersediaan komponen kritis apabila dilakukan tindakan pencegahan penggantian komponen.
11. Penentuan Waktu Penggantian Mesin Menggunakan *Therboogh's Model*
Perhitungan nilai sisa, taksiran umur ekonomis, dan nilai *uniform annual equivalent (UAE)* dari mesin baru dibandingkan dengan nilai mesin lama, untuk mengetahui waktu yang tepat untuk penggantian mesin.

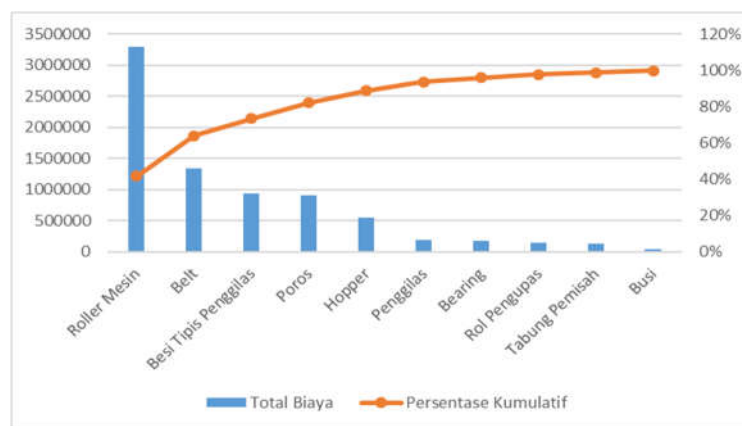
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Penentuan Komponen Kritis

Mesin *huller* adalah mesin yang kritis berdasarkan data jumlah kerusakan komponen tertinggi diantara mesin lainnya yang ada di perusahaan. Sesuai dengan aturan diagram pareto dalam menentukan komponen kritis (Herjanto dalam Nurmanita, 2015), maka nilai sekitar 80% dari total kerusakan akan ditentukan sebagai komponen kritis yang nantinya akan menjadi fokus kajian ini. Selain itu klasifikasi ABC mengikuti prinsip 80-20 atau hukum pareto, dimana sekitar 80% dari total kerusakan komponen mewakili 20% kerusakan lainnya.

Tabel 1. Pengelompokan Dengan Kriteria ABC Berdasarkan Total Biaya Tiap Komponen

No	Komponen	Total biaya	Persentase	Persentase kumulatif	Kategori
1	<i>Roller</i>	Rp 3.300.000	42%	42%	A
2	Belt	Rp 1.344.000	22%	64%	
3	Besi Tipis Penggilas	Rp 936.000	10%	74%	
4	Poros	Rp 900.000	9%	82%	
5	<i>Hopper</i>	Rp 555.000	7%	89%	B
6	Penggilas	Rp 192.000	5%	94%	
7	<i>Bearing</i>	Rp 180.000	2%	96%	C
8	Rol Pengupas	Rp 150.000	2%	98%	
9	Tabung Pemisah	Rp 135.000	1%	99%	
10	Busi	Rp 45.000	1%	100%	



Gambar 1. Diagram Pareto Penggantian Komponen Mesin *Huller*

Berdasarkan persentase kumulatif kerusakan dapat diketahui kelompok komponen yang termasuk dalam golongan A, B, dan C. Golongan A mempunyai persentase kumulatif 0-80%, golongan B dari 80 - 95%, dan golongan C dari 95-100% (Nurmanita, 2015). Berdasarkan Tabel 1 dapat diketahui kelas A memiliki jumlah kerusakan sebesar 82% dari seluruh total kerusakan, kelas B sebesar 13% dan kelas C sebesar 5% dari total kerusakan. Berdasarkan pengelompokan komponen kritis dengan metode ABC dan diagram Pareto, ditentukan empat komponen kritis yaitu *elemroller*, *belt*, besi tipis penggilas, dan poros.

2. Perhitungan Selang Waktu Antar Kerusakan

Perhitungan selang waktu kerusakan dengan cara menghitung selisih hari dari satu kerusakan ke kerusakan berikutnya. Data selang waktu antar kerusakan mulai dari periode Januari 2015 sampai dengan Desember 2017.

Jumlah hari antar kerusakan = $O_{i+1} - O_i = 13 \text{ Januari s/d } 18 \text{ Maret} = 64 \text{ hari}$

Hasil perhitungan nilai selang waktu antar kerusakan dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Data Selang Waktu Kerusakan Komponen *Roller* dan *Belt*

Penggantian Ke-	Komponen Kritis			
	<i>Roller</i>		<i>Belt</i>	
	Jumlah Komponen yang diganti (unit)	Waktu Antar Kerusakan (hari)	Jumlah Komponen yang diganti (unit)	Waktu Antar Kerusakan (hari)
1	2	0	1	0
2	2	64	1	201
3	2	54	1	90
4	2	145	1	159
5	2	65	1	64
6	2	72	1	76
7	2	78	1	100

8	2	42	1	144
....
14	2	53		
15	2	75		

Tabel 3. Data Selang Waktu KerusakanKomponen Besi Tipis Penggilas dan Poros

Penggantian Ke-	Komponen Kritis			
	Besi Tipis Penggilas		Poros	
	Jumlah Komponen yang diganti (unit)	Waktu Antar Kerusakan (hari)	Jumlah Komponen yang diganti (unit)	Waktu Antar Kerusakan (hari)
1	1	0	5	0
2	1	12	5	59
3	1	26	5	7
4	1	16	5	25
5	1	12	5	93
6	1	13	5	62
7	1	7	5	204
8	1	28		
....
49	1	42		
50	2	21		

3. Penentuan Nilai *Index Of Fit* Distribusi Data TTF Dari Data Historis dan Penentuan Parameter

Penentuan nilai *index of fit* (r) dari distribusi penggantian komponen dipilih dari nilai *index of fit* (r) terbesar pada distribusi *weibull*, lognormal, normal dan eksponensial. Distribusi terpilih akan digunakan untuk pengolahan data selanjutnya. Distribusi terpilih pada masing-masing komponen akan diuji kesesuaian untuk membuktikan apakah pendugaan distribusi berdasarkan nilai *index of fit* (r) terbesar sesuai atau tidak. Pendugaan distribusi dan parameter menggunakan bantuan *software minitab 16*. Hasil perhitungan nilai *index of fit* (r) dari masing-masing komponen dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Distribusi dan Parameter yang Digunakan Pada Komponen Kritis

Nama komponen	Distribusi	Parameter
<i>Roller</i>	<i>lognormal</i>	$\mu = 70,200$ $\sigma = 20,28$
<i>Belt</i>	<i>lognormal</i>	$\mu = 122,998$ $\sigma = 60,063$
Besi tipis peggilas	<i>lognormal</i>	$\mu = 21,059$ $\sigma = 9,675$
Poros	<i>Weibull</i>	$\beta = 0,922$ $\theta = 82,465$

4. Pengujian *Goodness Of Fit* Distribusi Data Historis Kerusakan

Uji kesesuaian dilakukan pada masing-masing distribusi terpilih berdasarkan penentuan nilai *index of fit* terbesar. Pengujian *goodness of fit* dilakukan dengan menguji Hipotesa terhadap distribusi terpilih. Jika H_0 ditolak, maka dilakukan pengujian nilai *index of fit* (r) terbesar kedua dan seterusnya.

H_0 : Data selang waktu penggantian *roller* berdistribusi *lognormal*

H_1 : Data selang waktu penggantian *roller* tidak berdistribusi *lognormal*

Taraf nyata, α : 0,05

$D_{Tabel} = 0,349$

Rekapitulasi pengolahan data untuk menentukan D_{hitung} dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Uji Kesesuaian Distribusi Penggantian *Roller*

I	i/n	(i-1)/n	t_i	$(t_i - \bar{t})/S$	$\Phi(t_i)$	$D1 = (i/n) - \Phi(t_i)$	$D2 = \Phi(t_i) - (i-1)/n$
1	0,071	0,000	42	-0,170	0,429	0,429	-0,357
2	0,143	0,071	48	-0,134	0,448	0,377	-0,305

3	0,214	0,143	53	-0,104	0,444	0,301	-0,230
...
13	0,929	0,857	78	0,046	0,520	-0,337	0,409
14	1,000	0,929	145	0,450	0,674	-0,255	0,326
					MAX	0,429	0,409
tbar = 70,29		S=20,824					

$$D_{hitung} = \max(D_1, D_2) = 0,429$$

Kesimpulan: dari hasil uji dengan *kolmogorov smirnov* di atas diperoleh nilai $D_{hitung} > D_{tabel}$, maka H_0 ditolak, artinya data selang waktu antar kerusakan penggantian *roller* tidak berdistribusi *Lognormal*. Dilakukan pengujian kembali distribusi kerusakan untuk komponen *roller* dengan nilai r (*Index of fit*) terbesar kedua yaitu distribusi *Weibull*.

- H_0 : Data selang waktu penggantian *roller* berdistribusi *weibull*
 H_1 : Data selang waktu penggantian *roller* tidak berdistribusi *weibull*.
 Taraf nyata, α : 0,05

Contoh perhitungan pada $i=1$

$$Z_i = \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{i-0,5}{n+0,25} \right) \right] \dots \dots \dots (1)$$

$$Z_1 = \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1-0,5}{14+0,25} \right) \right] = -3,332$$

Langkah selanjutnya menggunakan rumus yang sama untuk mencari nilai Z_2 sampai Z_n .

$$M_i = Z_{i+1} - Z_i \dots \dots \dots (2)$$

$$M_1 = -2,196 - (-3,332) = 1,136$$

Langkah selanjutnya menggunakan rumus yang sama untuk mencari nilai M_2 sampai M_n .

$$K_1 = \frac{14}{2} = 7$$

$$K_2 = \frac{13}{2} = 6,5 \text{ dibulatkan } 7$$

$$M_{tabel} 0,05; 7; 7 = 3,79 \text{ (lampiran tabel distribusi F)}$$

$$M_{hitung} = \frac{k_1 \sum_{i=k_1+1}^{r-1} \left(\frac{\ln t_{i+1} - \ln t_i}{M_i} \right)}{k_2 \sum_{i=1}^{k_1} \left(\frac{\ln t_{i+1} - \ln t_i}{M_i} \right)} \dots \dots \dots (3)$$

$$= \frac{7 \times (1,827)}{7 \times (1,876)} = 0,973$$

Rekapitulasi pengolahan uji *Mann's test* dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Uji Kesesuaian Distribusi Penggantian *Roller*

i	Ti	ln(ti)	Zi	Mi	ln(ti+1)-ln(ti)	(ln(ti+1)-ln(ti))/Mi
1	42	3,738	-3,332	1,136	0,134	0,118
2	48	3,871	-2,196	0,551	0,099	0,180
3	53	3,970	-1,646	0,379	0,019	0,049
...
13	78	4,357	0,741	0,339	0,620	1,827
14	145	4,977	1,080			
Σ	984	58,929				

$$M_{hitung} < M_{tabel} = 0,973 < 3,79$$

Kesimpulan: dari hasil pengujian *Mann's test* untuk distribusi *weibull*, nilai $M_{hitung} < M_{tabel}$, maka H_0 diterima artinya data penggantian komponen *roller* berdistribusi *weibull*. Rekapitulasi hasil *uji goodness of fit* masing-masing komponen kritis dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Rekapitulasi Distribusi Komponen Kritis

No	Komponen	r	Distribusi
1	<i>Roller</i>	0,898	<i>Weibull</i>
2	<i>Belt</i>	0,968	<i>Weibull</i>
3	Besi tipis penggilas	0,960	<i>Weibull</i>
4	Poros	0,990	<i>Weibull</i>

5. Perhitungan Nilai Mean Time To Failure (MTTF)

Setelah uji kesesuaian distribusi data melalui *goodness of fit test*, maka langkah selanjutnya perhitungan *mean time to failure* (MTTF) berdasarkan rumus distribusi sesuai parameter yang telah ada. Distribusi yang terbentuk pada semua komponen kritis adalah distribusi *Weibull*, maka parameter yang digunakan adalah β dan θ . Berikut contoh perhitungan nilai MTTF untuk komponen *roller*.

$$\begin{aligned} \text{MTTF} &= \theta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \dots\dots\dots(4) \\ \text{MTTF} &= 76,055 \Gamma\left(1 + \frac{1}{4,032}\right) \\ &= 76,055 \Gamma(1,23) \\ &= 76,055 (0,911) \\ &= \mathbf{69,28 \text{ hari} = 554 \text{ Jam}} \end{aligned}$$

Nilai MTTF digunakan sebagai penentuan interval waktu untuk dilakukan perawatan berdasarkan rata-rata waktu antar kerusakan. Untuk contoh komponen *roller* mempunyai nilai MTTF sebesar 69 hari, artinya setiap 69 hari komponen ini harus dilakukan tindakan penggantian komponen untuk mencegah kerusakan tiba-tiba. Hasil rekapitulasi nilai MTTF dari masing-masing komponen dari data historis dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Rekapitulasi Nilai MTTF

No	Komponen	MTTF (Hari)	MTTF (Jam)
1	<i>Roller</i>	69,28	554
2	<i>Belt</i>	118	951
3	Besi tipis penggilas	20,63	165
4	Poros	85,4	683

6. Perhitungan Biaya Kerusakan dan Biaya Pencegahan

Biaya kerusakan (*cost of failure*) terdiri dari biaya pembelian komponen, biaya pemesanan komponen, dan biaya kehilangan produksi. Rekapitulasi biaya kerusakan komponen kritis dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Rekapitulasi Biaya Kerusakan

Komponen	Biaya (Rp)			Total (Rp)
	Komponen	Kehilangan produksi	Tenaga kerja Sewa mesin	
<i>Roller</i>	265.000	16.500.0000	350.000 880.000	17.995.000
<i>Belt</i>	213.000	16.500.0000	350.000 880.000	17.943.000
Besi Tipis Penggilas	43.000	4.950.0000	105.000 264.000	5.362.000
Poros	115.000	3.300.0000	70.000 176.000	3.661.000

Biaya pencegahan (*cost of preventive*) terdiri dari biaya tenaga kerja, biaya komponen, dan biaya pemesanan komponen. Rekapitulasi biaya pencegahan komponen kritis dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Rekapitulasi Biaya Pencegahan

Komponen	Biaya (Rp)			Total (Rp)
	Komponen	Pemesanan komponen	Tenaga kerja	
<i>Roller</i>	220.000	45.000	35.000	300.000
<i>Belt</i>	168.000	45.000	35.000	248.000
Besi Tipis Penggilas	18.000	25.000	35.000	78.000
Poros	100.000	15.000	35.000	150.000

7. Perhitungan Interval Waktu Optimal Penggantian Pencegahan Dengan Metode *Age Replacement* Berdasarkan Data Historis Kerusakan

Perhitungan interval waktu penggantian pencegahan pada komponen dilakukan berdasarkan distribusi yang terpilih yakni distribusi *Weibull* untuk tiap komponen dengan cara *trial and error*. Untuk mendapatkan selang waktu antar kerusakan (t_p) dengan biaya perawatan minimal (C_p). Berikut ini contoh perhitungan untuk t_p 1 hari pada komponen *roller*.

$$R(t_p) = \exp \left\{ - \left[\frac{t}{\theta} \right]^\beta \right\} \dots\dots\dots(5)$$

$$= \exp\left\{-\left[\frac{1}{76,055}\right]^{4,372}\right\} = 0,9999$$

$$F(tp) = 1 - R(tp) \dots\dots\dots(6)$$

$$= 1 - 0,9999 = 0,0001$$

$$M(tp) = \frac{MTTF}{1-R(tp)} \dots\dots\dots(7)$$

$$= \frac{69,28}{0,0001} = 692.800$$

Total ekspektasi biaya *downtime* per siklus:

$$= C_p.R(tp) + [C_f.(1-R(tp))] \dots\dots\dots(8)$$

$$= 300.000 \times 0,9999 + (17.775.000 \times 0,0001) = 301.748$$

Ekspektasi panjang siklus:

$$= (tp + T_p).R(tp) + (M(tp) + T_f)(1-R(tp)) \dots\dots\dots(9)$$

$$= (1+0,5).0,9999 + (692.800+0,75).0,0001 = 70,786$$

$$C(tp) = \frac{C_p.R(tp) + [C_f.(1-R(tp))]}{(tp + T_p).R(tp) + (M(tp) + T_f)(1-R(tp))} \dots\dots\dots(10)$$

$$C(tp) = \frac{301.748}{70,786} = \text{Rp } 4.263$$

Rekapitulasi perhitungan dengan dengan metode *Age Replacement* dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Interval Waktu Penggantian Komponen *Roller* Dengan Metode *Age Replacement*

Tp (hari)	R(tp)	F(tp)	(Cp.R(tp) + Cf(1-R(tp)))	(tp+Tp).R(tp) + (M(tp)+Tf).(1-R(tp))	C (tp)
12	0,9997	0,00031	Rp305.448	81,782	Rp3.735
13	0,9996	0,00044	Rp307.730	82,780	Rp3.717
14	0,9994	0,00061	Rp310.687	83,778	Rp3.708
15	0,9992	0,00083	Rp314.448	84,774	Rp3.709
16	0,9989	0,00110	Rp319.156	85,769	Rp3.721

Berdasarkan perhitungan pada Tabel 11, nilai C(tp) terus turun hingga tp 14 hari dan naik kembali di tp 15 hari. Dengan demikian, 14 hari merupakan titik optimal karena memiliki nilai C(tp) terkecil yaitu Rp 3.708/hari. Rekapitulasi penentuan interval waktu penggantian pencegahan komponen dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12. Rekapitulasi Penentuan Interval Penggantian Pencegahan dengan Metode *Age Replacement*

Komponen kritis	Tp min (hari)	Nilai C(tp)/hari
<i>Roller</i>	14	Rp 3.708
<i>Belt</i>	7	Rp 2.018
Besi tipis peggilas	2	Rp 3.549
Poros	3	Rp 6.436

8. Perhitungan Interval Waktu Optimal Penggantian Pencegahan Dengan Metode *Age Replacement* Berdasarkan Standar Umur Pakai (*Mean Life*) Komponen

Perhitungan interval waktu penggantian pencegahan berdasarkan nilai modus data historis kerusakan dan rata-rata umur pakai (*mean life*) komponen berdasarkan standar dari Laboratorium Pengujian Alat dan Mesin Pertanian. Berikut ini contoh perhitungan interval penggantian komponenn *roller*. Nilai modus dari data selang waktu antar kerusakan komponen *roller* adalah 78 hari dan standar umur pakai komponen selama 60 – 70 hari. Rekapitulasi perhitungan interval penggantian pencegahan komponen dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 13. Interval Waktu Penggantian Komponen *Roller* Dengan Metode *Age Replacement*

Tp (hari)	R(tp)	F(tp)	(Cp.R(tp) + Cf(1-R(tp)))	(tp+Tp).R(tp) + (M(tp)+Tf).(1-R(tp))	C (tp)
59	0,0000	1,00000	Rp5.205.705	112,293	Rp46.358
60	0,0000	1,00000	Rp5.517.572	111,946	Rp49.288
...
67	0,0000	1,00000	Rp7.937.054	107,615	Rp73.754
68	0,0000	1,00000	Rp8.308.090	106,739	Rp77.836

Berdasarkan perhitungan pada Tabel 13, nilai C(tp) terus naik hingga tp 68 hari. Waktu optimal penggantian komponen *roller* dipilih berdasarkan standar umur pakai komponen yakni di tp 59 hari dengan C(tp) yaitu Rp 46.358/hari. Rekapitulasi perhitungan interval waktu penggantian komponen berdasarkan standar umur pakai komponen dapat dilihat pada Tabel 14.

Tabel 14. Rekapitulasi Penentuan Interval Penggantian Pencegahan dengan Metode *Age Replacement*

Komponen kritis	Tp min (hari)	Nilai C(tp)/hari
<i>Roller</i>	59	Rp 46.358
<i>Belt</i>	99	Rp 36.092
Besi tipis peggilas	7	Rp 8.246
Poros	49	Rp 24.457

9. Perbandingan Biaya Perawatan Saat Ini (Perusahaan) Dan Biaya Usulan

Berikut ini contoh perhitungan biaya perawatan usulan komponen *roller* dari nilai C (tp) minimal berdasarkan perhitungan dengan metode *age replacement* dari data historis kerusakan. Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 13 selang waktu penggantian komponen *roller* yaitu 14 hari, dengan biaya penggantian terencana sebesar Rp 3.708/hari.

Biaya perawatan saat ini = Rp 88.975.000

Jumlah penggantian = $\frac{\text{jumlah hari kerja}}{tp} = \frac{300}{14} = 21$ kali

Biaya perawatan usulan = jumlah penggantian x tp x C(tp).....(11)
= 21 x 14 x Rp 3.708 = Rp 1.112.542

Penghematan biaya = Rp 88.975.0000 – Rp 1.112.542
= Rp 88.862.458

Persentase penghematan biaya = $\frac{\text{Penghematan biaya}}{\text{Biaya perawatan saat ini}} \times 100\%$ (12)
= $\frac{88.975.000}{88.975.000} \times 100\% = 99\%$

Rekapitulasi perbandingan dan penghematan biaya perawatan komponen dapat dilihat Tabel 15 dan Tabel 16.

Tabel 15. Rekapitulasi Perbandingan Biaya Perawatan Komponen Kritis

Komponen kritis	Biaya Perawatan (Rp)		
	Perusahaan	Usulan 1	Usulan 2
<i>Roller</i>	89.975.000	1.112.542	13.675.610
<i>Belt</i>	53.829.000	605.527	10.719.324
Besi tipis peggilas	91.154.000	1.064.565	2.482.046
Poros	10.983.000	1.930.800	7.190.358

Tabel 16. Rekapitulasi Persentase Penghematan Biaya Perawatan

Komponen kritis	Penghematan Biaya Perawatan (Rp) dan Persentase Penghematan	
	Usulan 1	Usulan 2
<i>Roller</i>	88.862.458 (99%)	76.299.390 (84%)
<i>Belt</i>	53.223.473 (99%)	43.109.676 (80%)
Besi tipis peggilas	90.089.435 (99%)	88.671.954 (97%)
Poros	9.052.200(82%)	3.792.642 (34%)

10. Perhitungan Nilai *Availability* Komponen Kritis

Perhitungan nilai *availability* adalah seberapa besar peluang komponen untuk bersedia dioperasikan jika dilakukan perawatan pencegahan menggunakan metode *age replacement*. Berikut contoh perhitungan nilai *availability* untuk komponen *roller*.

Waktu operasi : 78 hari

$$\text{Waktu downtime} : 10 \text{ hari}$$

$$A(n) = \frac{\text{Top}}{\text{Top} + \text{Tdowntime}} = \frac{78}{78 + 10} = 0,886$$

Rekapitulasi nilai *availability* komponen dapat dilihat pada Tabel 17.

Tabel 17. Nilai Availability Komponen Kritis

Komponen	A(n)	A(n) (%)
<i>Roller</i>	0,886	88,6
<i>Belt</i>	0,912	91,2
Besi tipis penggilas	0,812	81,2
Poros	0,969	96,9

Nilai ketersediaan komponen berkisar antara 81,2% - 96,9%, artinya dalam 100% total nilai ketersediaan, peluang tersedianya komponen untuk menjalankan fungsinya dengan baik adalah berkisar antara 81,2% - 96,9%, dan sisanya adalah terjadi kerusakan (*breakdown*).

11. Penentuan Waktu Penggantian Mesin dengan Metode *Therboogh's Model*

Perhitungan kebijakan waktu penggantian mesin dilakukan karena masa pakai mesin *huller* saat ini (tahun 2019) adalah 7 (tujuh) tahun, dalam 3 (tiga) tahun terakhir mesin mengalami kerusakan sebanyak 91 kali. Data harga mesin dan nilai sisa mesin dapat dilihat pada Tabel 18.

Tabel 18. Data Mesin Huller Lama

Harga mesin lama (P)	Rp 12.000.000
Masa pakai ekonomis (N)	12 tahun
Perkiraan nilai sisa (S)	Rp 3.600.000

Berikut perhitungan depresiasi (penyusutan) mesin *huller* lama dengan metode *straight line*.

$$Dt = \frac{P-S}{N} = \frac{12.000.000 - 3.600.000}{12} = \text{Rp } 700.000$$

Data untuk perhitungan dengan *Therboogh's Model* dapat dilihat pada Tabel 19.

Tabel 19. Data Nilai Mesin Huller

No	Jenis Mesin	Harga (Rp)	Biaya Operasi (Rp)
1	Mesin lama	12.000.000	1.200.000
2	Mesin baru	24.600.000	700.000

a. Taksiran umur ekonomis mesin baru

Perhitungan nilai sisa (s) untuk periode 0 sampai 7 tahun adalah sebagai berikut:

$$s = \frac{1}{2} (\text{biaya operasi mesin lama} - \text{biaya operasi mesin baru})$$

$$s = \frac{1}{2} (1.200.000 - 700.000)$$

$$s = \text{Rp } 250.000$$

$$n^* = \sqrt{\frac{2C}{s}}$$

$$n^* = \sqrt{\frac{2 \cdot (24.600.000)}{250.000}}$$

$$n^* = 14,02 \sim 14 \text{ tahun}$$

Sehingga, biaya anuitas mesin baru:

$$UAE = \frac{s(n^*-1)}{2} + \frac{C}{n^*} + \frac{iC}{2}$$

$$UAE = \frac{250.000(14-1)}{2} + \frac{24.600.000}{14} + \frac{0,15(24.600.000)}{2}$$

$$UAE = \text{Rp } 6.852.143$$

b. Perhitungan biaya total mesin lama

1) Akumulasi penyusutan = 7 x Rp 700.000 = Rp 4.900.000

2) Kerugian nilai sisa untuk tahun depan (periode ke 8):

$$= (s \text{ periode } 7 - s \text{ periode } 8) = (7.100.000 - 6.400.000) = \text{Rp } 700.000$$

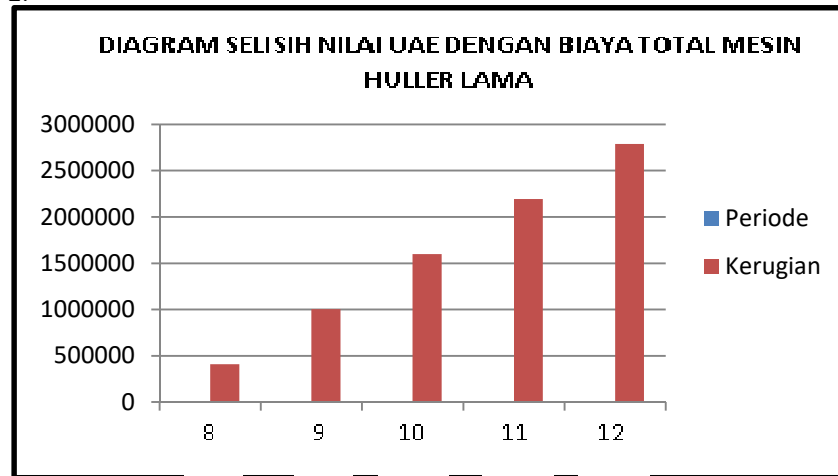
3) Biaya modal nilai sisa periode 7 = 15% x s periode 7

$$= 15\% \times 7.100.000 = \text{Rp } 1.065.000$$

4) Biaya total mesin lama

$$= \text{akumulasi penyusutan}_{(t)} + \text{kerugian nilai sisa}_{(t+1)} + \text{biaya modal}_{(t)}$$
$$= 4.900.000 + 700.000 + 1.065.000 = \text{Rp } 6.665.000$$

Rincian selisih biaya total mesin lama yang akan dibandingkan dengan nilai UAE mesin baru dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Hasil Selisih Nilai UAE dan Biaya Total Mesin Lama

Berdasarkan perhitungan dengan metode *Therboogh's model* diatas biaya total mesin lama pada periode ke 8 sampai pada periode ke 12 lebih besar dari nilai *uniform annual equivalent* (UAE) mesin baru Waktu yang tepat untuk penggantian mesin adalah pada tahun 2019, untuk menghindari kerugian yang lebih besar jika tetap mempertahankan mesin yang lama.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengolahan data dan analisis yang telah dilakukan sebelumnya, dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Komponen kritis dari mesin *huller* adalah *roller*, *belt*, besi tipis penggilas dan poros.
2. Jadwal penggantian untuk komponen *roller*, *belt*, besi tipis penggilas dan poros, berturut-turut dilakukan setiap 14 hari, 7 hari, 2 hari, dan 3 hari (berdasarkan data penggantian komponen di perusahaan). 59 hari, 99 hari, 7 hari, dan 49 hari (berdasarkan standar umur pakai komponen).
3. Persentase penghematan biaya perawatan yang diperoleh jika diterapkan penjadwalan dengan metode *Age Replacement* di perusahaan berkisar antara 82%-99% (berdasarkan data penggantian komponen di perusahaan). Penghematan sebesar 34%-97% (berdasarkan standar umur pakai komponen).
4. Waktu penggantian mesin *huller* yang tepat adalah pada periode penggunaan ke 8 (delapan) atau tahun 2019.

DAFTAR PUSTAKA

- Nurmanita, M., Sodikin, I., dan Oesman, T.I., 2015, *Pengendalian Persediaan Critical Spare Part Dengan Pendekatan Continous Review System Pada UPT Balai Yasa Yogyakarta*, Jurnal Rekavasi Vol. 3, No.1, Institut Sains dan Teknologi AKPRIND Yogyakarta
- Sodikin, I., 2008, *Penentuan Interval Perawatan Preventif Komponen Elektrik dan Komponen Mekanik yang Optimal Pada Mesin Excavator Seri PC 200-6 dengan Pendekatan Model Jardine*, Jurnal Teknik Industri, Institut Sains dan Teknologi AKPRIND, Yogyakarta.
- Sodikin, I., 2012, *Penentuan Reabilitas Sistem dan Peluang Sukses Mesin Pada Jenis Sistem Produksi Flow Shop*, Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains dan Teknologi (SNAST), Yogyakarta 3 November 2012, ISSN: 1979-911X, Institut Sains dan Teknologi AKPRIND, Yogyakarta.