

PENJADWALAN PERAWATAN *PREVENTIVE* PADA MESIN *SLOTING* DI CV. CAHAYA ABADI TEKNIK *

Dicky Pratama Bachtiar, Kusmaningrum, Yanti Helianty

Jurusan Teknik Industri
Institut Teknologi Nasional (Itenas) Bandung

Email: pratamadicky99@gmail.com

ABSTRAK

Mesin slotting merupakan salah satu mesin yang penting untuk mendukung kelancaran proses produksi di CV. Cahaya Abadi Teknik. Mesin slotting selayaknya berada dalam kondisi yang baik agar selalu siap saat digunakan, namun kenyataannya mesin slotting sering mengalami kerusakan pada saat proses produksi berlangsung, hal tersebut karena belum terdapat kebijakan perawatan pencegahan bagi mesin slotting tersebut. Komponen yang sering mengalami kerusakan (kritis) adalah bearing kecil, bearing besar dan V belt. Kerusakan komponen kritis dapat menimbulkan kerugian bagi perusahaan karena proses produksi yang terhambat. Oleh karena itu diperlukan penjadwalan perawatan yang optimal. Metode yang digunakan untuk menghitung interval penggantian pencegahan kerusakan adalah metode age replacement.

Kata kunci: *Mesin slotting, Perawatan Pencegahan, Komponen kritis, Penjadwalan perawatan, Age replacement.*

ABSTRACT

Slotting machine is an essential machine to support the smoothness of production process at CV. Cahaya Abadi Teknik. Slotting machine should be in a good condition when needed, but in fact slotting machines is often damaged during the production process, it is because there is no preventive care policy for the slotting machine. Components which are often damaged (critical) are small bearing ,large bearing and V belt. A damage to critical components may result in losses for the company because the production process is inhibited. Therefore, it is necessary to apply optimal scheduling maintenance. The method that used to calculate the damage preventive replacement interval is age replacement method.

Keywords : *Slotting machine , preventive maintenance, Critical component , Scheduling maintenance , Age replacement.*

* Makalah ini merupakan ringkasan dari Tugas Akhir yang disusun oleh penulis pertama dengan pembimbingan penulis kedua dan ketiga. Makalah ini merupakan draft awal dan akan disempurnakan oleh para penulis untuk disajikan pada seminar nasional dan/atau jurnal nasional

1. PENDAHULUAN

1.1 Pengantar

Dalam proses produksi dibutuhkan kebijakan untuk memperhatikan sumber daya pendukung proses produksi tersebut dengan tujuan agar biaya yang dikeluarkan dapat ditekan. Sumber daya yang digunakan selain sumber daya manusia adalah sumber daya mesin. Sumber daya mesin diperlukan karena terdapat proses-proses yang tidak dapat dilakukan sendiri oleh manusia, proses tersebut adalah proses permesinan yang rumit dan membutuhkan tingkat presisi yang tinggi dengan waktu proses yang telah ditentukan.

Terdapat berbagai macam jenis mesin yang digunakan di CV. Cahaya Abadi Teknik, mesin-mesin tersebut di antara lain adalah mesin bubut, *milling*, *gear hobbing*, *slotting* dan las. Namun di antara semua mesin yang digunakan mesin *slotting* merupakan salah satu mesin yang selalu dipakai dalam proses produksi di CV. Cahaya Abadi Teknik, mesin tersebut digunakan hampir setiap hari untuk membuat profil *spcy* pada beberapa komponen. Mesin *slotting* perlu mendapatkan perhatian karena perusahaan hanya memiliki 1 (satu) unit mesin saja, dan apabila mesin tersebut mengalami kerusakan maka akan berakibat terhambatnya proses produksi di perusahaan.

1.2 Identifikasi Masalah

Mesin slotting merupakan mesin yang sangat vital untuk mendukung proses produksi di perusahaan, dapat dikatakan bahwa mesin *slotting* memiliki peluang mengalami kerusakan yang cukup tinggi karena mesin tersebut hampir digunakan setiap hari dan perusahaan hanya memiliki 1 (satu) unit mesin saja, apabila mesin tersebut mengalami kerusakan maka akan berakibat berhentinya proses produksi di perusahaan dan menimbulkan kerugian bagi berbagai pihak, saat ini perusahaan belum menggunakan kebijakan *pereventive maintenance* dan masih menggunakan kebijakan *correvtive maintenance*. Dalam penjadwalan perawatan *preventive* terdapat variabel hari kerja mesin sebagai acuan interval waktu untuk melakukan penggantian pencegahan kerusakan. Metode yang digunakan untuk menghitung interval waktu penggunaan komponen untuk mencegah kerusakan adalah metode *age replacement*. Metode *age replacement* merupakan metode penjadwalan penggantian komponen berdasarkan umur komponen yang optimal (Jardine, 1973).

2. STUDI LITERATUR

2.1 Perawatan

Perawatan atau *maintenance* adalah aktivitas agar suatu komponen atau sistem yang rusak akan dikembalikan atau diperbaiki dalam suatu kondisi tertentu pada periode tertentu (Ebeling, 1997). Menurut pengertian tersebut dapat disimpulkan bahwa *maintenance* merupakan suatu tindakan untuk menjaga atau memelihara fasilitas maupun memperbaiki fasilitas yang rusak sehingga saat akan digunakan fasilitas tersebut dapat bekerja sesuai fungsinya dan manajemen perawatan industri adalah upaya pengaturan aktivitas untuk menjaga kontinuitas produksi, sehingga dapat menghasilkan produk yang berkualitas dan memiliki daya saing, melalui pemeliharaan fasilitas.

2.2 Distribusi Kerusakan

Distribusi kerusakan merupakan informasi dasar mengenai umur pakai suatu fasilitas baik peralatan atau mesin dalam suatu populasi tertentu. Distribusi kerusakan serta karakteristik kerusakan pada setiap alat dapat berbeda-beda. Ada beberapa distribusi yang dapat menggambarkan karakteristik kerusakan suatu alat, baik yang memiliki laju kerusakan

konstan maupun yang memiliki laju kerusakan tidak konstan. Untuk yang memiliki laju kerusakan konstan dan tidak berubah terhadap waktu menggunakan distribusi Eksponensial. Sementara untuk yang memiliki laju kerusakan tidak konstan menggunakan distribusi Normal, distribusi Weibull dan distribusi Lognormal.

2.3 Kebijakan Penggantian Pencegahan (*Preventive Maintenance*)

Penggantian pencegahan dilakukan pada waktu yang optimal sebelum kerusakan terjadi. Penentuan waktu penggantian pencegahan optimal tergantung pada tujuan yang ingin dicapai, yaitu meminimasi biaya atau memaksimalkan ketersediaan. Berikut merupakan model kebijakan perawatan, yaitu:

1. *Block Replacement*, disebut sebagai interval konstan, karena penggantian pencegahan dilakukan pada interval pasti dan penggantian kerusakan kapanpun dibutuhkan.
2. *Age Replacement*, waktu penggantian pencegahan tergantung pada umur komponen. Jika terjadi kerusakan, waktu komponen diulang kembali menjadi nol.

2.4 Penggantian Pencegahan Optimal Berdasarkan Umur Komponen, dengan Mempertimbangkan Waktu Penggantian yang Dibutuhkan untuk Efek Kegagalan dan Penggantian Pencegahan

Dalam model ini, kebijakan penggantian yaitu dengan melakukan penggantian pencegahan ketika komponen mencapai umur t_p tertentu, sekaligus penggantian kerusakan jika diperlukan. Tujuan model ini yaitu untuk menentukan interval penggantian pencegahan komponen yang optimal dengan meminimasi ekspektasi total biaya perawatan per satuan waktu. Rumus untuk mengetahui ekspektasi total biaya perawatan per satuan waktu dapat dilihat pada persamaan 1.

$$C(t_p) = \frac{C_p \times R(t_p) + (C_f \times [1 - R(t_p)])}{(t_p + T_p) \times R(t_p) + (M(t_p) + T_f [1 - R(t_p)])} \quad (1)$$

Keterangan:

$C(t_p)$ = Ekspektasi total biaya penggantian per satuan waktu (t_p).

C_f = Ongkos penggantian kerusakan untuk melakukan penggantian pencegahan.

C_p = Ongkos penggantian pencegahan untuk melakukan penggantian pencegahan.

$f(t_p)$ = *Probability density function*.

T_p = Waktu yang dibutuhkan untuk melakukan penggantian pencegahan.

T_f = Waktu yang dibutuhkan untuk melakukan penggantian kerusakan.

$R(t_p)$ = Fungsi keandalan peralatan atau mesin pada waktu t_p .

$M(t_p)$ = Rata-rata waktu terjadinya kerusakan ketika penggantian pencegahan dilakukan pada waktu t_p .

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Perumusan Masalah

Permasalahan yang dihadapi perusahaan yaitu sering terjadi kerusakan komponen pada saat mesin sedang beroperasi karena tidak adanya kebijakan penggantian pencegahan. Komponen kritis mesin slotting adalah *bearing* kecil, *bearing* besar dan *V belt* dan kerusakan pada komponen kritis dapat menyebabkan kerusakan pada komponen lain. Kerusakan komponen pada saat proses produksi berlangsung menyebabkan kerugian bagi perusahaan, karena proses produksi terhambat. Untuk itu perlu dibuat interval penggantian pencegahan komponen kritis berdasarkan ongkos penggantian terkecil.

3.2 Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan untuk mendukung penelitian ini meliputi data tanggal kerusakan komponen, data harga komponen, data waktu penggantian pencegahan, data waktu penggantian kerusakan, data biaya pencegahan dan data biaya kerusakan.

3.3 Pengolahan Data

Data-data yang telah dikumpulkan selanjutnya diolah sesuai dengan kebutuhannya. Berikut pengolahan data yang dilakukan:

3.3.1 Penentuan Komponen Kritis

Komponen kritis adalah komponen yang memiliki biaya penggantian yang paling berpengaruh terhadap keseluruhan biaya penggantian komponen dan dipilih dengan menggunakan diagram pareto.

3.3.2 Perhitungan Interval Kerusakan

Pada data kerusakan komponen terdapat informasi berupa tanggal kerusakan yang terjadi, dari tanggal kerusakan tersebut dapat dihitung interval antar kerusakannya dalam satuan hari.

3.3.3 Uji *Pearson Product Moment* (Perhitungan *Index Of Fit*)

Data interval kerusakan komponen kritis diuji dengan menggunakan 4 (empat) pola distribusi, yaitu distribusi normal, lognormal, eksponensial dan weibull. Dengan pengujian tersebut dapat diketahui kecenderungan data kerusakan komponen kritis mengikuti pola distribusi tertentu

3.3.4 Perhitungan Parameter Distribusi Kerusakan Terpilih

Parameter distribusi kerusakan dihitung berdasarkan pola distribusi terpilih, adapun perhitungan parameter distribusi terpilih bertujuan untuk mengetahui laju kerusakan komponen dan pendukung untuk perhitungan fungsi distribusi.

3.3.5 Perhitungan Interval Penggantian Pencegahan Komponen

Dalam model *Age Replacement*, interval waktu penggantian tergantung pada umur komponen berdasarkan hari yang menghasilkan ekspektasi total biaya pencegahan dengan nilai terkecil.

4. PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Berikut pengumpulan dan pengolahan data yang dilakukan pada penelitian ini:

4.1 Data Kerusakan Komponen

Data tanggal kerusakan komponen penyusun mesin *slotting* yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data kerusakan Komponen

No	Tanggal Kerusakan				
	<i>Bearing Kecil</i>	<i>Bearing Besar</i>	<i>V Belt</i>	Pompa Oli	Dinamo
1	06/10/2013	08/08/2013	08/10/2013	12/09/2013	19/11/2013
2	29/01/2014	28/02/2014	27/02/2014	02/01/2014	20/12/2014
3	17/06/2014	02/10/2014	03/08/2014	11/05/2014	
4	27/12/2014	10/05/2015	28/12/2014	21/08/2014	
5	25/06/2015		15/07/2015	26/11/2014	
6				30/03/2015	
7				25/07/2015	

Data jumlah kebutuhan dan frekuensi kerusakan per tahun dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Komponen Penyusun

No	Komponen	Kebutuhan (Buah)	Frekuensi Kerusakan / Tahun	Harga / Buah (Rp)
1	<i>Bearing</i> Kecil	5	3	560.000
2	<i>Bearing</i> Besar	4	2	750.000
3	<i>V Belt</i>	4	3	325.000
4	Pompa Oli	1	4	650.000
5	Dinamo	1	1	2.000.000

4.2 Data Waktu Penggantian Pencegahan dan Kerusakan

Data waktu penggantian pencegahan dan kerusakan setiap komponen penyusun dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Waktu Penggantian Pencegahan dan Kerusakan

Komponen	Waktu Penggantian Pencegahan (Jam)	Waktu Penggantian Kerusakan (Jam)
<i>Bearing</i> Kecil	6	8
<i>Bearing</i> Besar	5	7
<i>V Belt</i>	5	7
Pompa Oli	3	5
Dinamo	4	5

4.3 Data Biaya Penggantian Pencegahan dan Kerusakan

Biaya-biaya tersebut akan dijelaskan sebagai berikut:

1. Biaya Pembelian Komponen

Berikut biaya pembelian atau harga komponen penyusun mesin *slotting* yang sering mengalami kerusakan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Harga Komponen

Komponen	Harga / Buah (Rp)
<i>Bearing</i> Kecil	560.000
<i>Bearing</i> Besar	750.000
<i>V Belt</i>	325.000
Pompa Oli	650.000
Dinamo	2.000.000

2. Biaya Operator

Terdapat kebijakan perusahaan dimana sistem perupahan per hari adalah Rp 85.000/hari dengan jumlah jam kerja normal dalam 1 (satu) harinya sebanyak 8 jam kerja.

3. Biaya Pemasangan

Biaya pemasangan adalah biaya pembelian barang penunjang dengan biaya paling besar Rp 50.000/penggantian.

4. Biaya *Subcontract*

Biaya *subcontract* merupakan biaya yang dikeluarkan untuk membayar jasa pembuatan profil *spey* pada perusahaan lain, total biaya *subcontract* tergantung dari lamanya waktu penggantian dan kapasitas produksi, dimana kapasitas produksi perusahaan adalah 20 produk/hari dan biaya *subcontract* untuk pembuatan profil *spey* adalah Rp 25.000/produk.

5. Biaya Pembelian Komponen Yang Ikut Diganti

Data harga pembelian untuk komponen yang ikut diganti dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Harga Komponen Yang Ikut Diganti

Komponen yang Rusak	Komponen yang Ikut Diganti	Harga (Rp)
<i>Bearing</i> Kecil	As <i>Bearing</i> Kecil	300.000
<i>Bearing</i> Besar	As <i>Bearing</i> Besar	450.000
V <i>Belt</i>	<i>Pulley</i>	200.000
Pompa Oli	<i>Oil Filter</i> dan oli	200.000
Dinamo	<i>Bearing</i> Alternator	150.000

6. Harga Produk jadi

Produk yang dibuat adalah produk *gear as drum*, kapasitas produksi maksimal dalam waktu sehari sebesar 20 buah produk dengan harga satu buah produk *gear* adalah Rp 300.000.

4.6 Penentuan Komponen Kritis

Perhitungan pemilihan komponen kritis pada mesin *slotting* dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Perhitungan Pemilihan Komponen Kritis

No	Komponen	Kebutuhan (Buah)	Frekuensi Kerusakan / Tahun	Harga Komponen / Buah (Rp)	Biaya Penggantian (Rp)	Persentase (%)	Persentase Kumulatif (%)
1	<i>Bearing</i> Kecil	5	3	560.000	8.400.000	37	37
2	<i>Bearing</i> Besar	4	2	750.000	6.000.000	26	63
3	V <i>Belt</i>	4	3	325.000	3.900.000	17	80
4	Pompa Oli	1	4	650.000	2.600.000	11	91
5	Dinamo	1	1	2.000.000	2.000.000	9	100
Total					22.900.000	100	

$$\text{Biaya Penggantian} = \text{Kebutuhan} \times \text{frekuensi kerusakan} \times \text{harga komponen} \quad (2)$$

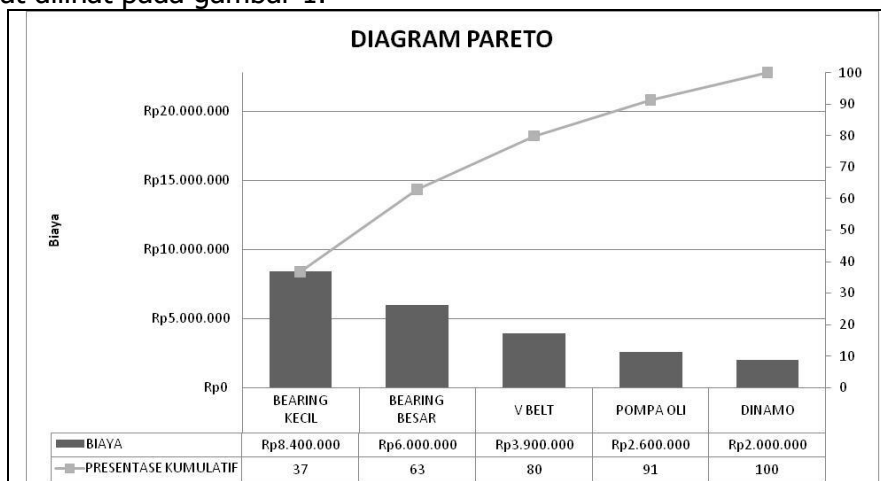
$$= 5 \times 3 \times \text{Rp}560.000$$

$$= \text{Rp}8.400.000$$

$$\text{Persentase} = \frac{\text{Biaya Penggantian}}{\text{Total Biaya Penggantian}} \times 100\% \quad (3)$$

$$= \frac{\text{Rp}8.400.000}{\text{Rp}22.900.000} \times 100 = 37\%$$

Berikut merupakan gambar diagram pareto untuk pemilihan komponen kritis pada mesin *slotting* dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram Pareto Pemilihan Komponen Kritis

Dapat diketahui bahwa komponen kritis yang terpilih adalah komponen *bearing* kecil, *bearing* besar dan *V belt*.

4.7 Perhitungan Interval Kerusakan

Interval kerusakan komponen kritis dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Interval Kerusakan Komponen Kritis

No	<i>Bearing Kecil</i>		<i>Bearing Besar</i>			<i>V Belt</i>
	Tanggal Kerusakan	Interval Kerusakan (Hari)	Tanggal Kerusakan	Interval Kerusakan (Hari)	Tanggal Kerusakan	Interval Kerusakan (Hari)
1	06/10/2013		08/08/2013		14/09/2013	
2	29/01/2014	115	29/04/2014	264	01/02/2014	140
3	17/06/2014	138	12/12/2014	228	29/07/2014	179
4	27/12/2014	193	25/06/2015	195	28/12/2014	153
5	25/06/2015	210			15/07/2015	199

4.8 Uji *Pearson Product Moment* (Perhitungan *Index Of Fit*)

Pola distribusi yang terpilih adalah pola dengan nilai *index of fit* terbesar, Rekapitulasi pola distribusi kerusakan terpilih dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Rekapitulasi Pola Distribusi Kerusakan Terpilih

No	Komponen	Pola Distribusi Terpilih
1	<i>Bearing Kecil</i>	Weibull
2	<i>Bearing Besar</i>	Lognormal
3	<i>V Belt</i>	Lognormal

4.9 Perhitungan Parameter Distribusi Kerusakan

Perhitungan parameter distribusi berdasarkan distribusi kerusakan yang terpilih untuk masing-masing komponen adalah:

1. Komponen *Bearing Kecil*

Perhitungan parameter distribusi weibull komponen *bearing* kecil dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Perhitungan Parameter Distribusi Weibull Komponen *Bearing Kecil*

i	T _i	F _t (i)	X _i	Y _i	X _i .Y _i	X _i ²	b	a	a	β
1	115	0,159	-1,753	4,745	-8,317	3,073	0,273	5,201	181,45	3,661
2	138	0,386	-0,717	4,927	-3,531	0,514				
3	193	0,614	-0,050	5,263	-0,265	0,003				
4	210	0,841	0,609	5,347	3,255	0,371				
Total			-1,911	20,282	-8,858	3,960				

$$F_t(1) = \frac{i-0,3}{n+0,4} = \frac{1-0,3}{4+0,4} = 0,159 \quad (4)$$

$$X_1 = \ln \left[\ln \frac{1}{1-F(t_i)} \right] = \ln \left[\ln \frac{1}{1-0,159} \right] = -1,753 \quad (5)$$

$$Y_1 = \ln(t_1) = \ln(115) = 4,745 \quad (6)$$

$$X_1 \cdot Y_1 = -1,753 \times 4,745 = -8,317$$

$$X_1^2 = -1,753^2$$

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n Y_i}{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2} \quad (7)$$

$$= \frac{4 \times (-8,858) - (-1,911) \times 20,282}{4 \times (3,960) - (-1,911)^2}$$

$$= 0,273$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n} - b \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (8)$$

$$= \frac{20,282}{4} - 0,273 \frac{(-1,911)}{4}$$

$$= 5,201$$

$$a = \exp(a) \quad (9)$$

$$= \exp(5,201)$$

$$= 181,45$$

$$\beta = \frac{1}{b} \quad (10)$$

$$= \frac{1}{0,273} = 3,661$$

2. Komponen bearing Besar

Perhitungan parameter distribusi lognormal untuk komponen bearing besar dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Perhitungan Parameter Distribusi Lognormal Komponen Bearing Besar

i	ti	Xi	μ	$(Xi - \mu)^2$	σ
1	195	5,2730	5,426	0,0234	0,124
2	228	5,4293		0	
3	264	5,5759		0,0225	
Total	687	16,2783		0,0459	

$$X_i = \ln t_i = \ln 195 = 5,2730$$

$$\mu = \bar{X}_i = \frac{\sum_{i=1}^n \ln t_i}{n} \quad (11)$$

$$= \frac{16,2783}{3} = 5,426$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\ln t_i - \mu)^2}{n}} \quad (12)$$

$$= \sqrt{\frac{0,0459}{3}} = 0,124$$

3. Komponen V Belt

Perhitungan parameter distribusi lognormal untuk komponen V Belt dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Perhitungan Parameter Distribusi Lognormal Komponen V Belt

i	ti	Xi	μ	$(Xi - \mu)^2$	σ
1	140	4,9416	5,113	0,0294	0,136
2	153	5,0304		0,0068	
3	179	5,1874		0,0055	
4	199	5,2933		0,0324	
Total	671	20,4528		0,0742	

$$X_i = \ln t_i = \ln 140 = 4,9416$$

$$\mu = \bar{X}_i = \frac{\sum_{i=1}^n \ln t_i}{n}$$

$$= \frac{20,4528}{4} = 5,113$$

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

$$= \sqrt{\frac{0,0742}{4}} = 0,136$$

4.10 Perhitungan Biaya Penggantian Pencegahan

Perhitungan untuk *Cost Of Preventive (Cp)* untuk masing-masing komponen kritis adalah:

1. Komponen *Bearing* Kecil

$$\begin{aligned} \text{Biaya Pembelian Komponen} &= \text{Harga Komponen} \times \text{Kebutuhan} \\ &= \text{Rp } 560.000 \times 5 = \text{Rp } 2.800.000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Waktu Penggantian Pencegahan (Tp)} &= \frac{\text{Waktu Penggantian Pencegahan (Jam)}}{\text{Jam Kerja}} \\ &= \frac{6}{8} = 0,750 \text{ Hari} \sim 1 \text{ Hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya Operator} &= \text{Waktu Penggantian Pencegahan} \times \text{Biaya Tenaga Kerja} \\ &= 1 \text{ Hari} \times \text{Rp } 85.000 = \text{Rp } 85.000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total Biaya Subcontract} &= \text{Kapasitas Produksi} \times \text{Waktu penggantian Pencegahan} \\ &\quad \times \text{Biaya Subcontract} \\ &= 20 \times 0,750 \times \text{Rp } 25.000 = \text{Rp } 375.000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Cp &= \text{Biaya Pembelian Komponen} + \text{Biaya Operator} + \text{Biaya Pemasangan} + \text{Total} \\ &\quad \text{Biaya Subcontract} \\ &= \text{Rp } 2.800.000 + \text{Rp } 85.000 + \text{Rp } 50.000 + \text{Rp } 375.000 \\ &= \text{Rp } 3.310.000 \end{aligned}$$

2. Komponen *Bearing* Besar

Perhitungan *Cp* komponen *bearing* besar sama dengan komponen *bearing* kecil dengan nilai *Cp* sebesar Rp 3.447.500

3. Komponen *V Belt*

Perhitungan *Cp* komponen *V belt* sama dengan komponen *bearing* kecil dengan nilai *Cp* sebesar Rp 1.727.500

4.11 Perhitungan Biaya Penggantian Kerusakan

Perhitungan untuk *Cost Of Failure (Cf)* untuk masing-masing komponen kritis adalah:

1. Komponen *Bearing* Kecil

$$\begin{aligned} \text{Biaya Pembelian Komponen} &= \text{Harga Komponen} \times \text{Kebutuhan} \\ &= \text{Rp } 560.000 \times 5 = \text{Rp } 2.800.000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Waktu Penggantian Kerusakan (Tf)} &= \frac{\text{Waktu Penggantian Kerusakan (Jam)}}{\text{Jam Kerja}} \\ &= \frac{8}{8} = 1 \text{ Hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya Operator} &= \text{Waktu Penggantian Kerusakan} \times \text{Biaya Tenaga Kerja} \\ &= 1 \text{ Hari} \times \text{Rp } 85.000 = \text{Rp } 85.000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total Biaya Subcontract} &= \text{Kapasitas Produksi} \times \text{Waktu penggantian Pencegahan} \\ &\quad \times \text{Biaya Subcontract} \\ &= 20 \times 1 \times \text{Rp } 25.000 = \text{Rp } 500.000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Cf &= \text{Biaya Pembelian Komponen} + \text{Biaya Operator} + \text{Biaya Pemasangan} + \\ &\quad \text{Total Biaya Subcontract} + \text{Biaya Cacat Produk} + \text{Biaya Komponen Lain Yang} \\ &\quad \text{Ikut Diganti} \\ &= \text{Rp } 2.800.000 + \text{Rp } 85.000 + \text{Rp } 50.000 + \text{Rp } 500.000 + \text{Rp } 200.000 \\ &\quad + \text{Rp } 300.000 \\ &= \text{Rp } 3.935.000 \end{aligned}$$

2. Komponen *Bearing* Besar

Perhitungan *Cf* komponen *bearing* besar sama dengan komponen *bearing* kecil dengan nilai *Cf* sebesar Rp 4.235.000

3. Komponen V Belt

Perhitungan C_f komponen V belt sama dengan komponen bearing kecil dengan nilai C_f sebesar Rp 2.265.000

4.12 Perhitungan Interval Penggantian Pencegahan Komponen

1. Komponen Bearing Kecil

Didapat nilai $C(tp)$ terus turun hingga 120 hari dan naik kembali di 130 hari. Oleh karena itu, 120 hari merupakan titik optimal karena memiliki nilai $C(tp)$ terkecil yang bernilai Rp13.162/hari. Perhitungan interval penggantian pencegahan komponen bearing kecil dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12. Perhitungan Interval Penggantian Pencegahan Komponen Bearing Kecil

tp (Hari)	$R_c(tp)$	$F_c(tp)$	$(C_p \cdot R_c(tp) + C_f \cdot (1 - R_c(tp)))$	$(M_c(tp) + T_f) \cdot (1 - R_c(tp))$	$(tp + T_p) \cdot R_c(tp) + (M_c(tp) + T_f) \cdot (1 - R_c(tp))$	$C_c(tp)$
100	0,8933	0,1067	Rp 3.376.713	163,867	253,862	Rp 13.301
110	0,8521	0,1479	Rp 3.402.419	163,908	258,281	Rp 13.173
120	0,8025	0,1975	Rp 3.433.450	163,957	260,857	Rp 13.162
130	0,7445	0,2555	Rp 3.469.657	164,015	261,365	Rp 13.275
140	0,6791	0,3209	Rp 3.510.536	164,081	259,670	Rp 13.519
150	0,6077	0,3923	Rp 3.555.203	164,152	255,759	Rp 13.901

$$R(tp) = \exp \left[- \left(\frac{t}{\alpha} \right)^\beta \right] \tag{13}$$

$$= \exp \left[- \left(\frac{120}{181,451} \right)^{3,661} \right] = 0,8025$$

$$F(tp) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{t}{\alpha} \right)^\beta \right] \tag{14}$$

$$= 1 - \exp \left[- \left(\frac{120}{181,451} \right)^{3,661} \right]$$

$$= 1 - 0,8025 = 0,1975$$

$$MTTF = \alpha \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \tag{15}$$

$$= 181,451 \Gamma \left(1 + \frac{1}{3,661} \right)$$

$$= 181,451 \times 0,90250 = 163,760$$

$$\text{Ekspektasi panjang siklus kerusakan} = (M_c(tp) + T_f) \times (1 - R_c(tp)) \tag{16}$$

$$= \left(\frac{MTTF}{1 - R_c(tp)} + T_f \right) \times (1 - R_c(tp))$$

$$= \left(\frac{163,760}{1 - 0,8025} + 1 \right) \times (1 - 0,8025) = 163,957$$

$$C(tp) = \frac{C_p \times R(tp) + C_f (1 - R(tp))}{(tp + T_p) \times R(tp) + [M_c(tp) \times T_f] (1 - R(tp))} \tag{17}$$

$$C(120) = \frac{3.310.000 \times 0,8025 + 3.935.000 \times 0,1975}{120 + 0,75 \times 0,8025 + 163,790}$$

$$= \frac{3.433.437,5}{232.410} = \text{Rp}13.162/\text{hari}$$

2. Komponen Bearing Besar

Didapat nilai $C(tp)$ terus turun hingga 180 hari dan naik kembali di 190 hari. Oleh karena itu, 180 hari merupakan titik optimal karena memiliki nilai $C(tp)$ terkecil yang bernilai Rp8.585/hari. Perhitungan interval penggantian pencegahan komponen bearing besar dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 13. Perhitungan Interval Penggantian Pencegahan Komponen Bearing Besar

tp (Hari)	F _{t(tp)}	R _{t(tp)}	(C _p .R _{t(tp)}) + Cf.(1-R _{t(tp)})	(M _{t(tp)+Tf}).(1-R _{t(tp)})	(tp+Tp).R _{t(tp)} + (M _{t(tp)+Tf}).(1-R _{t(tp)})	C _{t(tp)}
150	0,0004	0,9996	Rp 3.447.808	229,007	379,573	Rp 9.083
160	0,0023	0,9977	Rp 3.449.294	229,008	389,267	Rp 8.861
170	0,0095	0,9905	Rp 3.454.956	229,014	398,024	Rp 8.680
180	0,0297	0,9703	Rp 3.470.915	229,032	404,287	Rp 8.585
190	0,0739	0,9261	Rp 3.505.663	229,071	405,617	Rp 8.643
200	0,1508	0,8492	Rp 3.566.258	229,138	399,508	Rp 8.927

$$F(tp) = \Phi \left(\frac{\ln(tp) - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{2}}} \right) \tag{18}$$

$$= \Phi \left(\frac{\ln(180) - 5,426}{0,124} \right) = 0,0297$$

$$R(tp) = 1 - \Phi \left(\frac{\ln(tp) - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{2}}} \right) \tag{19}$$

$$= 1 - \Phi \left(\frac{\ln(180) - 5,426}{0,124} \right)$$

$$= 1 - 0,0297 = 0,9703$$

$$MTTF = \exp \left(\mu + \frac{\sigma^2}{2} \right) \tag{20}$$

$$= \exp \left(5,426 + \frac{0,124^2}{2} \right)$$

$$= 229,006$$

$$\begin{aligned} \text{Ekspektasi panjang siklus kerusakan} &= (M(tp) + Tf) \times (1 - R_t(tp)) \\ &= \left(\frac{MTTF}{1 - R_t(tp)} + Tf \right) \times (1 - R_t(tp)) \\ &= \left(\frac{229,006}{1 - 0,9703} + 0,875 \right) \times (1 - 0,9703) = 229,032 \end{aligned}$$

$$C(tp) = \frac{C_p \times R(tp) + C_f (1 - R(tp))}{(tp + Tp) \times R(tp) + [M(tp) \times Tf] (1 - R(tp))}$$

$$C(180) = \frac{3.447.500 \times 0,9703 + 4.235.000 \times 0,0297}{180 + 0,625 \times 0,9703 + 229,032}$$

$$= \frac{3.470.888,75}{404,3} = \text{Rp}8.585/\text{hari}$$

3. Komponen V Belt

Didapat nilai C(tp) terus turun hingga 130 hari dan naik kembali di 140 hari. Oleh karena itu, 130 hari merupakan titik optimal karena memiliki nilai C(tp) terkecil yang bernilai Rp5.946/hari. Perhitungan interval penggantian pencegahan komponen V belt dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 14. Perhitungan Interval Penggantian Pencegahan Komponen V Belt

tp (Hari)	F _{t(tp)}	R _{t(tp)}	(C _p .R _{t(tp)}) + Cf.(1-R _{t(tp)})	(M _{t(tp)+Tf}).(1-R _{t(tp)})	(tp+Tp).R _{t(tp)} + (M _{t(tp)+Tf}).(1-R _{t(tp)})	C _{t(tp)}
100	0,0001	0,9999	Rp 1.727.552	167,749	268,365	Rp 6.437
110	0,0012	0,9988	Rp 1.728.158	167,750	278,240	Rp 6.211
120	0,0084	0,9916	Rp 1.732.016	167,757	287,368	Rp 6.027
130	0,0357	0,9643	Rp 1.746.669	167,781	293,747	Rp 5.946
140	0,1039	0,8961	Rp 1.783.372	167,840	293,847	Rp 6.069
150	0,2258	0,7742	Rp 1.848.846	167,947	284,567	Rp 6.497

Perhitungan C(tp) V belt sama dengan komponen bearing besar.

5. ANALISIS

5.1 Analisis Komponen Kritis

Terdapat tiga komponen kritis yang didapat karena telah memenuhi kriteria diagram pareto, yaitu 80% jumlah biaya penggantian komponen dialokasikan untuk ketiga komponen ini, komponen kritis tersebut adalah *bearing* kecil, *bearing* besar dan *V belt*.

Bearing kecil dan besar merupakan komponen yang digunakan untuk mengurangi koefisien gesekan antara as dan rumahnya karena alat yang berputar. Salah satu penyebab *bearing* kecil dan besar cepat mengalami kerusakan adalah frekuensi pemakai dan putaran mesin yang tinggi yang dapat menyebabkan keausan pada *steel ball*, *separator*, *inner* dan *outer ring* karena adanya gesekan yang kontinu.

V belt merupakan suatu komponen yang berfungsi sebagai penyambung daya poros yang satu ke poros yang lain melalui *pulley* mengikuti laju putaran pada mesin atau alat yang dikaitkan. Salah satu penyebab *V belt* cepat mengalami kerusakan kurang lebih sama seperti *bearing* yaitu frekuensi pemakai dan putaran mesin yang tinggi yang dapat menyebabkan keausan, fleksibilitas *V belt* berkurang atau getas dan berujung pada putusya *V belt* karena adanya gesekan yang kontinu.

5.2 Analisis Interval Penggantian Optimal

Pada komponen *bearing* kecil perhitungan interval berdasarkan distribusi weibull dan komponen *bearing* kecil harus diganti pada saat mesin sudah beroperasi selama 120 hari, yang berarti terdapat 3 kali penggantian pencegahan yang dilakukan dalam interval satu tahun.

Pada komponen *bearing* besar perhitungan interval berdasarkan distribusi log normal dan komponen *bearing* besar harus diganti pada saat mesin sudah beroperasi selama 180 hari, yang berarti terdapat 2 kali penggantian pencegahan yang dilakukan dalam satu tahun.

Pada komponen *V belt* perhitungan interval berdasarkan distribusi lognormal dan komponen *V belt* harus diganti pada saat mesin sudah beroperasi selama 130 hari, yang berarti terdapat 2 kali penggantian pencegahan yang dilakukan dalam satu tahun.

6. KESIMPULAN

Hasil perhitungan interval penggantian pencegahan untuk komponen *bearing* kecil yaitu pada titik 120 hari dengan ekspektasi biaya penggantian Rp 13.162/hari, pada komponen *bearing* besar yaitu pada titik 180 hari dengan ekspektasi biaya penggantian sebesar Rp 8.585/hari sedangkan pada komponen *V belt* pada titik 130 hari dengan ekspektasi biaya penggantian sebesar Rp 5.946/hari.

REFERENSI

Ebeling, Charles., 1997, *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*, McGraw Hill Companies, Singapore.

Jardine, A.K.S., 1973, *Maintenance, Replacement, and Reliability*, Pitman Publishing Corporation, Canada.