

**JADWAL PENGGANTIAN PENCEGAHAN GABUNGAN
SUB KOMPONEN WATER COOLING PANEL DENGAN KRITERIA
MINIMISASI EKSPEKTASI TOTAL BIAYA PERAWATAN
DI PT. INTER WORLD STEEL MILLS INDONESIA**

Fifi Herni Mustofa^{1*}, Kusmaningrum Soemadi², Fachmi Muharami

^{1,2}Jurusan Teknik Industri, Institut Teknologi Nasional

Jl. P.H.H. Mustapa No.23 Bandung 40124

*Email: fifi@itenas.ac.id

Abstrak

PT. Inter World Steel Mills Indonesia adalah industri manufaktur yang bergerak di bidang pengolahan besi dan baja. Pada proses peleburan menjadi baja cair, terdapat komponen yang berfungsi sebagai pendingin yaitu water cooling panel yang dioperasikan setiap hari selama 24 jam. Water cooling panel memiliki banyak sub komponen dan setiap sub komponen yang ada pada water cooling panel membutuhkan jadwal penggantian yang berbeda-beda. Selama ini waktu penggantian sub komponen dilakukan selama satu hari kerja sehingga menyebabkan kerugian materi bagi perusahaan akibat terhentinya proses produksi. Hal tersebut juga mengakibatkan bertambahnya biaya penggantian sub komponen serta waktu yang lama apabila semua sub komponen yang ada pada water cooling panel akan diganti. Oleh sebab itu perlu ditentukan jadwal penggantian pencegahan gabungan sub komponen water cooling panel yang optimal pada satu waktu dengan meminimasi ongkos total biaya perawatan. Penelitian dilakukan menggunakan model matematis yang mempertimbangkan laju kerusakan berdasarkan ekspektasi biaya total penggantian yang terkecil.

Penentuan interval penggantian pencegahan gabungan sub komponen water cooling panel yang optimal pada satu waktu dengan meminimasi ongkos total biaya perawatan. diperoleh hasil hasil 4 sub komponen pada hari ke-152. Sedangkan untuk 3 sub komponen dan 4 sub komponen dengan perencanaan titik pertama (3 sub komponen) pada hari ke-109, titik kedua (4 sub komponen) pada hari ke- 231, titik ketiga (3 sub komponen) pada hari ke- 340, titik keempat (4 sub komponen) pada hari ke- 493.

Kata kunci: *jadwal penggantian, manufaktur, minimasi, ongkos perawatan.*

1. PENDAHULUAN

Persaingan yang selalu meningkat dalam industri manufaktur menyebabkan setiap perusahaan perlu untuk meningkatkan produktivitas dan kualitas. Peningkatan produktivitas dapat ditandai dengan efisiensi yang tinggi serta lancarnya lintasan suatu proses produksi sehingga produk yang dihasilkan memiliki kualitas yang bagus. Perusahaan menginginkan produk dengan kualitas yang bagus dengan cara menggunakan peralatan atau mesin dengan keadaan baik, tetapi apabila peralatan atau mesin tersebut digunakan secara terus-menerus dalam kegiatan produksi maka akan mengakibatkan kerusakan komponen. Oleh karena itu, diperlukan suatu tindakan perawatan dan penggantian komponen secara teratur agar dapat menjaga kondisi peralatan atau mesin dalam keadaan optimal.

PT. Inter World Steel Mills Indonesia adalah industri manufaktur yang bergerak di bidang pengolahan besi dan baja. Perusahaan ini mengolah besi dari berbagai macam besi tua (*scrap*) sehingga menjadi besi beton polos (*plain bars*) dan besi beton ulir (*deformed bars*). Salah satu divisi yang ada di PT. Inter World Steel Mills Indonesia adalah divisi *melting plant* yang menghasilkan produk *steel billet*. *Steel billet* merupakan bahan baku untuk pengerolan menjadi produk jadi. Divisi ini mempunyai salah satu proses yang penting, yaitu *electric arc furnace*. *Electric arc furnace* adalah proses peleburan besi tua menjadi baja cair dengan menentukan komposisi atau *steel grade* sesuai yang diinginkan. Besi tua (*scrap*) dileburkan didalam *electric arc furnace* atau dapur listrik. Pada proses peleburan ini, terdapat komponen yang berfungsi sebagai pendingin yaitu *water cooling panel*. Komponen ini berfungsi untuk menjaga temperatur pada *electric arc furnace* sebesar 1600°C. *Electric arc furnace* dioperasikan setiap hari tanpa berhenti, mesin yang digunakan setiap hari tanpa berhenti akan berakibat rusaknya komponen-komponen

yang ada pada mesin tersebut sehingga diperlukan perawatan terhadap komponen-komponen agar dapat mencegah kerusakan yang lebih besar terjadi seperti mesin yang digunakan harus *breakdown*.

Water cooling panel memiliki banyak komponen, yaitu pipa-pipa yang mengalirkan air untuk menjaga temperatur *electric arc furnace*. Kebijakan tindakan perawatan pada *water cooling panel* yang dilakukan PT. Inter World Steel Mills Indonesia adalah *corrective maintenance*, yaitu perawatan yang dilakukan setelah terjadi kerusakan. Waktu yang dibutuhkan untuk melakukan perawatan adalah selama satu hari kerja untuk setiap sub komponen. Kebijakan perawatan yang ada mengakibatkan bertambahnya biaya penggantian sub komponen dan waktu yang lama apabila semua sub komponen yang ada pada *water cooling panel* akan diganti. Maka dari itu perusahaan memerlukan kebijakan *preventive maintenance* dengan menentukan interval penggantian pencegahan gabungan sub komponen yang optimal agar dapat meminimasi biaya kerusakan serta dapat mengganti komponen sebelum mengalami *breakdown*.

Setiap sub komponen yang ada pada *water cooling panel* membutuhkan jadwal penggantian yang berbeda-beda dengan waktu penggantian selama satu hari kerja untuk setiap sub komponen sehingga menyebabkan kerugian materi bagi perusahaan akibat terhentinya proses produksi dan mengakibatkan bertambahnya biaya penggantian komponen serta waktu yang lama apabila semua sub komponen yang ada pada *water cooling panel* akan diganti.

Masalah yang akan dikaji adalah menentukan jadwal penggantian pencegahan gabungan sub komponen *water cooling panel* yang optimal pada satu waktu dengan meminimasi ongkos total biaya perawatan. Penelitian dilakukan menggunakan model matematis yang dikembangkan oleh Jardine (1979) dengan mencari jadwal penggantian masing-masing sub komponen kemudian jadwal penggantian yang sudah diketahui digabungkan berdasarkan ekspektasi biaya total penggantian yang terkecil.

2. METODOLOGI

Metodologi penelitian merupakan penjabaran dari langkah-langkah pemecahan masalah yang dilakukan dalam sebuah penelitian. Metodologi penelitian tersusun secara sistematis dan menggambarkan uraian ringkas dari penelitian. Langkah-langkah pemecahan masalah yang akan dilakukan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.

Suatu komponen mempunyai kemungkinan untuk mengalami kerusakan secara tiba-tiba. Pada saat komponen mengalami kerusakan, maka komponen tersebut harus diganti. Perbaikan yang dilakukan setelah ada kerusakan mengakibatkan besarnya pengeluaran perusahaan untuk biaya penggantian komponen akibat kerusakan. Suatu tindakan pencegahan dapat mengurangi biaya pengeluaran akibat kerusakan yang terjadi secara tiba-tiba. Tindakan penggantian pencegahan dilakukan berdasarkan umur komponen (*preventive replacement of age equipment*). Kebijakan penggantian dilakukan dengan penggantian pencegahan ketika komponen mencapai umur t_p tertentu, ditambah dengan penggantian kerusakan jika diperlukan serta waktu yang diperlukan untuk mengganti kerusakan tersebut.

Tujuan dari kebijakan penggantian yang dilakukan adalah menentukan interval penggantian pencegahan sub komponen *water cooling panel* yang optimal dengan meminimasi ekspektasi total biaya perawatan per satuan waktu. Terdapat dua siklus operasi yang mungkin terjadi pada penggantian pencegahan. Penggantian pencegahan pada siklus operasi pertama dilakukan pada saat sebelum terjadi kerusakan, sedangkan penggantian pencegahan pada siklus operasi kedua dilakukan setelah terjadi kerusakan.

Ekspektasi total biaya penggantian per satuan waktu $[C(t_p)]$ dapat diformulasikan sebagai berikut:

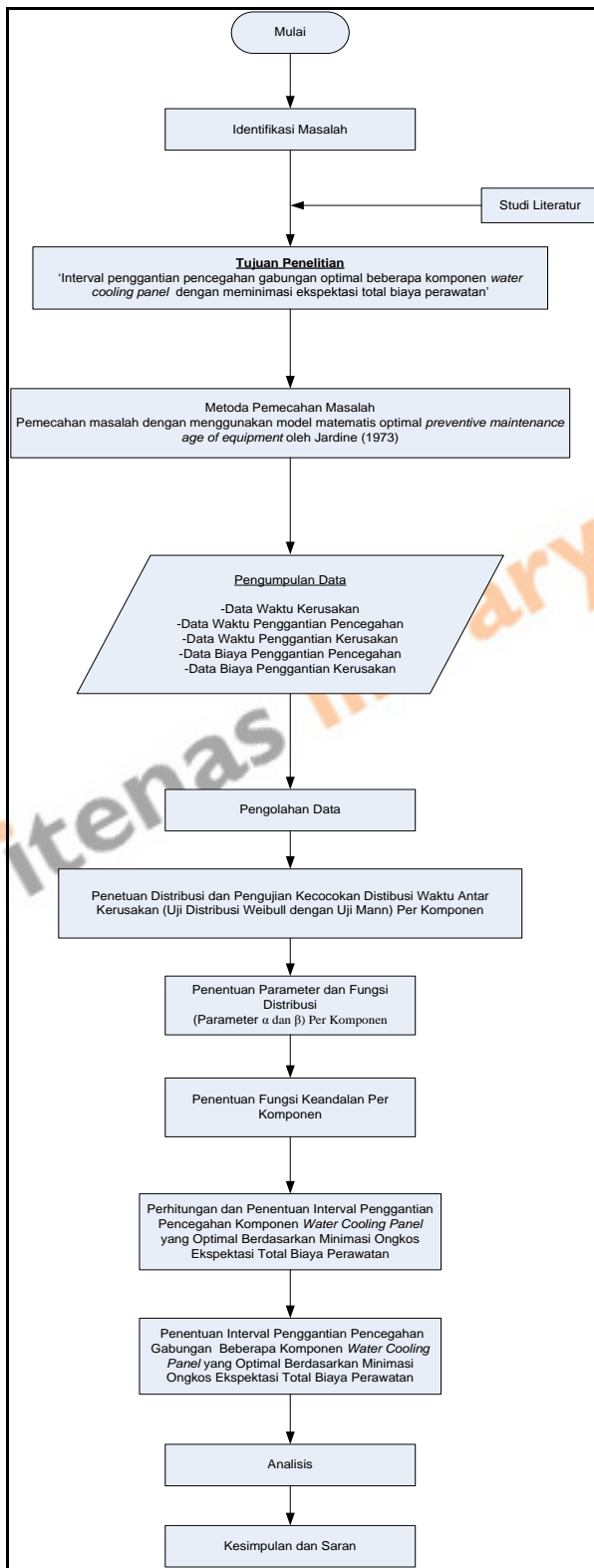
$$C(t_p) = \frac{\text{Ekspektasi total biaya penggantian persiklus}}{\text{ekspektasi panjang siklus}} \quad (1)$$

Ekspektasi total biaya penggantian per siklus:

= (biaya siklus penggantian pencegahan x probabilitas siklus pencegahan) + (biaya siklus kerusakan x probabilitas siklus kerusakan)

Maka akan diperoleh persamaan ekspektasi total biaya penggantian per satuan waktu sebagai berikut:

$$C(t_p) = \frac{(C_p \times R(t_p)) + (C_f \times [1 - R(t_p)])}{((t_p + T_p) \times R(t_p)) + \left[\int_0^{t_p} t_p f(t_p) dt + T_f \right] [1 - R(t_p)]} \tag{2}$$



Gambar 1. Metodologi penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengujian Kecocokan Distribusi Kerusakan

Distribusi statistik yang digunakan untuk mengetahui pola kerusakan yang terjadi pada PT. Inter World Steel Mills Indonesia adalah distribusi *Weibull*. Distribusi *Weibull* mempunyai nilai parameter $\beta > 1$ yang memperlihatkan laju kerusakan yang meningkat terhadap waktu.

Pengujian estimasi pola waktu antar kerusakan sesuai dengan distribusi *Weibull* dapat *water cooling panel* dengan cara melakukan uji hipotesa bentuk distribusi waktu antar kerusakan dengan menggunakan pengujian *Weibull* Dua Parameter. Metode pengujian kecocokan bentuk pola waktu antar kerusakan menggunakan uji S-Mann atau *Mann's Test*.

3.2 Uji Hipotesis Distribusi Data Kerusakan Pipa IPB 5

Tahap-tahap pada pengujian distribusi *Weibull* Dua Parameter bahwa pola distribusi waktu antar kerusakan berdistribusi *Weibull* Dua Parameter adalah sebagai berikut:

a. Hipotesis penelitian, yaitu:

(H_0) : Pola waktu antar kerusakan berdistribusi *Weibull* Dua Parameter.

(H_i) : Pola waktu antar kerusakan tidak berdistribusi *Weibull* Dua Parameter.

b. Tingkat kepercayaan (α) yang digunakan adalah 95% atau 0,95.

c. Bentuk distribusi yang digunakan adalah distribusi F.

d. Perhitungan nilai statistik, yaitu:

$$k_1 = \left[\frac{r}{2} \right] = \left[\frac{4}{2} \right] = 2 \quad (3)$$

$$k_2 = \left[\frac{r-1}{2} \right] = \left[\frac{4-1}{2} \right] = 1$$

$$v_1 = 2k_2 = 2$$

$$v_2 = 2k_1 = 4$$

Perhitungan nilai statistik pada pipa IPB 5 dapat dilihat pada Tabel 1:

Tabel 1. Perhitungan nilai statistik pipa ipb 5 mesin electric arc furnace

No	T_i (Hari)	$X_i = \ln(T_i)$	M_i	$(X_{i+1}) - X_i$	$((X_{i+1}) - X_i) / M_i$	Numerator	Denominator
1	136	4.913	1.246	0.015	0.012	-	0.012
2	138	4.927	0.712	0.825	1.159	-	1.159
3	315	5.753	0.670	0.216	0.322	0.645	-
4	391	5.969	-	-	-	-	-
JUMLAH						0.645	1.171
						M	0.551
						$F_{crit,0.05,2,4}$	6.94

$$M = \frac{k_1 \sum_{i=k_1+1}^{r-1} \frac{X_{i+1} - X_i}{M_i}}{k_2 \sum_{i=1}^{k_2} \frac{X_{i+1} - X_i}{M_i}} \quad (4)$$

$$M = 0.645 / 1.171 = 0.551$$

$$F_{crit,0.05,2,4} = 6.94$$

e. Kesimpulan

Pada pengujian hipotesis, dinyatakan bahwa hipotesis nol (H_0) akan diterima apabila persyaratan pengujian terpenuhi, yaitu nilai M hitung lebih kecil dari nilai F_{crit} dari tabel ($M < F_{crit}$). Dilihat dari hasil perhitungan, M hitung lebih kecil dari F_{crit} ($0.551 < 6.39$), maka hipotesa nol (H_0) diterima, bahwa pola waktu antar kerusakan berdistribusi *Weibull*.

Rekapitulasi perhitungan nilai statistik pipa IPB 5, IPB 6, UPB 3 dan UPB 4 dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi Perhitungan Nilai Statistik Pipa IPB 5, IPB 6, UPB 3 dan UPB 4

	IPB 5	IPB 6	UPB 3	UPB 4
M	0.551	0.485	1.738	0.212
Fcrit	6.94	6.94	4.53	6.94

Dilihat dari nilai M dan F_{crit} pada Tabel 2, pipa IPB 5, IPB 6, UPB 3 dan UPB 4 memiliki pola waktu antar kerusakan berdistribusi Weibull karena nilai ($M < F_{crit}$).

3.3 Perhitungan Parameter Distribusi Pada Pipa IPB 5

Perhitungan parameter distribusi Weibull Dua Parameter dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Perhitungan parameter distribusi weibull dua parameter pipa IPB 5

i	T _i (Hari)	F(T _i)	X _i	Y _i	X _i Y _i	X _i ²
1	136	0.159	-1.753	4.913	-8.611	3.073
2	138	0.386	-0.717	4.927	-3.531	0.514
3	315	0.614	-0.050	5.753	-0.289	0.003
4	391	0.841	0.609	5.969	3.634	0.371
JUMLAH			-1.911	21.561	-8.798	3.960

$$b = \frac{(4)(-8,798) - (-1,911)(21,561)}{(4)(3,960) - (-1,911)^2} = 0,4934 \quad (5)$$

$$a = \frac{(21,561)}{4} - (0,4934 \times (\frac{-1,911}{4})) = 5,6260$$

$$\alpha = \exp(5,6260) = 277,5535$$

$$\beta = \frac{1}{0,4934} = 2,0268$$

Rekapitulasi perhitungan parameter distribusi pipa IPB 5, IPB 6, UPB 3 dan UPB 4 dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Rekapitulasi perhitungan parameter distribusi weibull dua parameter pipa IPB 5, IPB 6, UPB 3 dan UPB 4

	IPB 5	IPB 6	UPB 3	UPB 4
α	277.554	268.448	239.283	221.898
β	2.0268	0.7304	1.0378	0.9158

3.4 Penentuan Interval Penggantian Pencegahan Sub Komponen *Water Cooling Panel* yang Optimal

Interval penggantian pencegahan pipa IPB 5 pada perhitungan dilakukan dengan jangka waktu per hari, dimulai dari hari ke-1 sampai dengan hari ke- 345. Perhitungan interval penggantian pipa IPB 5 menggunakan rumus:

a. Fungsi keandalan $R(t)$

$$R(t) = \exp \left[- \left[\frac{t}{\alpha} \right]^\beta \right] \quad (6)$$

$$R(t) = \exp \left[- \left[\frac{t}{277,5535} \right]^{2,0268} \right]$$

b. Fungsi padat peluang $f(t)$

$$f(t) = \frac{\beta}{\alpha} \left[\frac{t}{\alpha} \right]^{\beta-1} \cdot \exp \left[- \left[\frac{t}{\alpha} \right]^{\beta} \right] \quad (7)$$

$$f(t) = \frac{2,0268}{277,5535} \left[\frac{t}{277,5535} \right]^{2,0268-1} \cdot \exp \left[- \left[\frac{t}{277,5535} \right]^{2,0268} \right]$$

c. Mean time to failure

$$\int_0^{t_p} t \cdot f(t) dt \quad (8)$$

d. Ekspektasi total biaya penggantian per satuan waktu

$$C(t_p) = \frac{(C_p \times R(t_p)) + (C_f \times [1 - R(t_p)])}{((t_p + T_p) \times R(t_p)) + \left[\int_0^{t_p} t_p f(t_p) dt + T_f \right] [1 - R(t_p)]} \quad (9)$$

Berdasarkan hasil pengolahan data, didapatkan interval penggantian pencegahan optimal pipa IPB 5 yang memiliki total biaya terkecil pada sub komponen *water cooling panel* yaitu pada hari ke-329. Pada interval ini, total biaya untuk melakukan penggantian sebesar Rp 8.702.143,45,- dan mempunyai nilai MTTF sebesar 114,7259 hari. Rekapitulasi pengolahan data interval penggantian pencegahan pipa IPB 5, IPB 6, UPB 3 dan UPB 4 dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Rekapitulasi interval penggantian pencegahan

Komponen	Interval Penggantian	Ekspektasi Total Biaya Perawatan
IPB 5	329	8,702,143.45
IPB 6	736	6,676,918.70
UPB 3	315	6,627,881.55
UPB 4	320	6,777,831.75

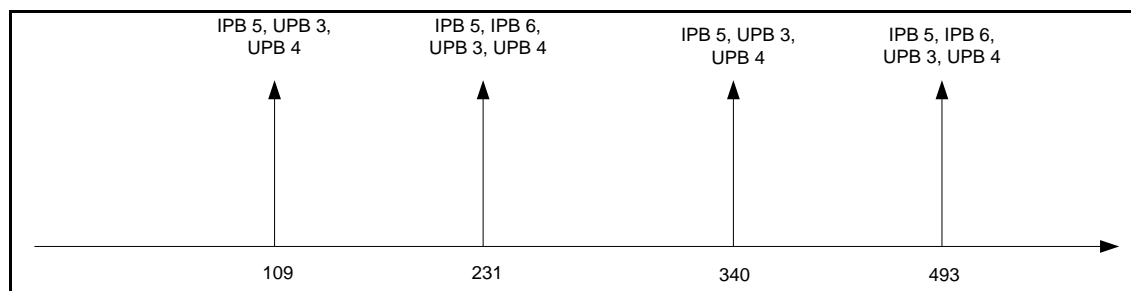
3.5 Penggabungan Interval Penggantian Pencegahan Sub Komponen *Water Cooling Panel* yang Optimal

Pengolahan data yang telah dilakukan menghasilkan interval penggantian IPB 5, IPB 6, UPB 3, UPB 4 pada sub komponen *water cooling panel*. Interval yang telah didapat kemudian digabungkan menjadi satu titik, dimana titik tersebut menghasilkan ekspektasi biaya total penggantian yang optimal. Perhitungan penggabungan interval penggantian pencegahan adalah sebagai berikut:

- Sub komponen yang diganti merupakan penggabungan dari IPB 5, IPB 6, UPB 3 dan UPB 4 dengan t_p yang sama (kelipatan) pada setiap titik penggantian. Penggabungan dilakukan 4 sub komponen untuk mengetahui ekspektasi total biaya perawatan gabungan yang optimal.
- Perhitungan ekspektasi total biaya penggantian sub komponen adalah sebagai berikut:

$$C(t_p) = C_{t_p IPB5} + C_{t_p IPB6} + C_{t_p UPB3} + C_{t_p UPB4} \quad (10)$$

Rekapitulasi penggabungan interval penggantian pencegahan gabungan beberapa sub komponen *water cooling panel* yang optimal dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Interval penggantian pencegahan gabungan beberapa sub komponen *water cooling panel*

Interval penggantian pencegahan gabungan *water cooling panel* diperoleh dengan cara menggabungkan interval penggantian pencegahan masing-masing sub komponen, lalu interval penggantian pencegahan terpilih setiap sub komponen dijumlahkan dengan mencari ekspektasi biaya total penggantian yang optimal.

3.6 Analisis Jadwal Penggabungan Sub Komponen

Pengolahan data dilakukan dengan menghitung interval penggantian pipa IPB 5, IPB 6, UPB 3, UPB 4 pada sub komponen *water cooling panel*. Interval yang telah didapat dari masing-masing sub komponen kemudian digabungkan menjadi satu titik, dimana titik tersebut menghasilkan ekspektasi biaya total penggantian yang optimal.

Setiap sub komponen yang ada pada *water cooling panel* membutuhkan jadwal penggantian yang berbeda-beda dengan waktu penggantian selama satu hari kerja untuk setiap sub komponen dan mengakibatkan bertambahnya biaya penggantian sub komponen pada *water cooling panel*.

PT. Inter World Steel Mills Indonesia melakukan penggabungan komponen yang bertujuan untuk mengetahui jadwal gabungan agar dapat melakukan penggantian setiap komponen *water cooling panel* pada satu waktu serta dapat meminimasi ongkos total biaya perawatan.

Jadwal penggabungan komponen dapat diterapkan pada PT. Inter World Steel Mills Indonesia karena pada saat melakukan penggantian gabungan komponen, waktu untuk elemen pekerjaan mengangkat *water cooling panel* tidak membutuhkan ketelitian yang besar sehingga waktu penggantian yang dibutuhkan lebih cepat.

4. KESIMPULAN

Dari pembahasan yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- a. Interval penggantian pencegahan optimal IPB 5 yang memiliki total biaya terkecil yaitu pada hari ke-93. Interval penggantian pencegahan optimal IPB 6 yang memiliki total biaya terkecil yaitu pada hari ke-415. Interval penggantian pencegahan optimal UPB 3 yang memiliki total biaya terkecil yaitu pada hari ke-108. Interval penggantian pencegahan optimal UPB 4 yang memiliki total biaya terkecil yaitu pada hari ke-169 .
- b. Interval penggantian pencegahan optimal gabungan berdasarkan:
 - 4 sub komponen yaitu hari ke-152.
 - 3 sub komponen dan 4 sub komponen
 - ✓ Titik pertama (3 sub komponen) = Hari ke-109.
 - ✓ Titik kedua (4 sub komponen) = Hari ke- 231.
 - ✓ Titik ketiga (3 sub komponen) = Hari ke- 340.
 - ✓ Titik keempat (4 sub komponen) = Hari ke- 493.

DAFTAR PUSTAKA

- Assauri, Sofian, 1999, *Manajemen Produksi*, Edisi Ketiga, Lembaga Penerbit Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia, Jakarta.
- Corder, Antony, 1985, *Teknik Manajemen Pemeliharaan*, (Terjemahan: Kusnul Hadi), Erlangga, Jakarta.
- Ebeling, Charles E, 1997, *An Introduction To Reliability and Maintenance Engeneering*, McGraw-Hill, Singapore.
- Jardine, A.K.S., 1979, *Maintenance, Replacement, and Reliability*, Pitman Publishing, New York.

