

# INTERVAL PENGGANTIAN PENCEGAHAN SUKU CADANG BAGIAN DIESEL PADA LOKOMOTIF KERETA API PARAHYANGAN\* (STUDI KASUS DI PT. KERETA API INDONESIA)

**YULIANTIN HARYANTI PURWADINATA**

Jurusan Teknik Industri  
Institut Teknologi Nasional (Itenas) Bandung

Email: hani.purwadinata@gmail.com

## ABSTRAK

*Penelitian ini bertujuan untuk menentukan interval waktu penggantian komponen bagian mesin diesel dengan tingkat kerusakan yang meningkat yaitu suku cadang nozzle, diketahui waktu yang tepat dalam penggantian lokomotif agar keandalan tetap terjaga dan lokomotif beroperasi dengan maksimal. Obyek penelitian adalah selang waktu kerusakan nozzle, spesifikasi setiap nomor seri lokomotif. Penelitian dimulai dari mengklasifikasikan kerusakan kemudian mendata waktu antar kerusakan setelah itu menentukan distribusi data dan parameter distribusi yang akan digunakan selanjutnya melakukan perhitungan interval penggantian dengan menggunakan model age replacement. Hasil analisis menunjukkan bahwa interval waktu penggantian suku cadang nozzle dengan minimasi biaya total yang diusulkan 110 hari.*

**Kata Kunci:** Kereta api, Interval Penggantian Pencegahan, Umur Penggantian

## ABSTRACT

*This study aims to determine the time interval replacement of diesel sub system component in Parahyangan rail locomotifwith an increasing failure rate that spares the nozzle, so that can be maintained and operated with a maximum locomotive. Object of this research is an interval of damage to the nozzle, the specifications of each locomotive's serial number. Research starts from clarifying damage then record the time between failures after it determines the distribution of data and distribution parametersthat will be used subsequently perform preventive replacement interval calculations using modelage replacement. The analysis results show that interval replacement of parts nozzle with a proposed total cost minimization is 110 days.*

**Keywords:** Train, Preventive Replacement Interval, Age Replacement

---

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

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Pengantar

Perawatan didefinisikan sebagai aktifitas agar komponen atau sistem yang rusak akan dikembalikan atau diperbaiki dalam suatu kondisi tertentu pada periode tertentu (Ebeling, 1997). Kondisi ini dicapai dengan dilakukannya perencanaan dan penjadwalan tindakan perawatan. Banyak perusahaan yang mengabaikan masalah perawatan karena biaya yang dikeluarkan untuk pelaksanaannya besar, namun jika dibandingkan dengan biaya perbaikan setelah terjadi kerusakan akan jauh lebih besar daripada biaya perawatan.

PT. KAI sebagai *public service* harus dapat menjaga dan meningkatkan pelayanannya terhadap pelanggan, sehingga diperlukan suatu tindakan perawatan dan penggantian komponen secara teratur agar menjaga kondisi mesin dalam keadaan optimal. Salah satu cara peningkatan pelayanan yang dapat dilakukan oleh perusahaan adalah memenuhi keinginan konsumen dengan sebaik-baiknya. Pemenuhan kebutuhan konsumen dapat dilakukan dengan tepatnya waktu keberangkatan dan waktu kedatangan kereta api. Kerusakan pada mesin lokomotif dapat mengakibatkan waktu keberangkatan dan waktu kedatangan kereta api menjadi tidak tepat waktu, sehingga dibutuhkan perawatan untuk mengatasi masalah-masalah kerusakan pada mesin lokomotif. Pada kenyataannya cara menjalankan lokomotif oleh masinis yang berbeda-beda dapat mengakibatkan suku cadang mengalami kerusakan sebelum jadwal penggantian.

Kerusakan suku cadang sebelum waktunya dapat menyebabkan besarnya biaya perawatan yang dikeluarkan setiap tahun dikarenakan tingginya tingkat kerusakan sebelum waktu *breakdown* dan dapat mengakibatkan waktu keberangkatan dan waktu kedatangan kereta api menjadi tidak tepat waktu. Jadwal keberangkatan kereta api yang harus tepat waktu dan kondisi lokomotif harus selalu dalam keadaan baik agar siap untuk menempuh perjalanan merupakan cara meningkatkan pelayanan terhadap pelanggan, jika terdapat lokomotif yang mengalami kerusakan, maka harus segera dilakukan tindakan perawatan atau penggantian agar tidak mengganggu waktu dari keberangkatan maupun kedatangan kereta api, sehingga rencana penggantian pencegahan harus ditentukan sebelum terjadinya kerusakan agar dapat meminimasi biaya kerusakan suku cadang sebelum waktu *breakdown*.

### 1.2 Identifikasi Masalah

Pada Pemeliharaan dan perawatan suku cadang pada kondisi yang benar akan memperpanjang umur suku cadang tersebut sampai pada batas maksimal. Perlunya mengetahui interval perawatan pencegahan suku cadang yang optimal adalah agar dapat meminimasi terjadinya *downtime* mesin. Untuk itu salah satu metoda yang dapat digunakan untuk menentukan waktu perawatan penggantian pencegahan suku cadang mesin adalah model *age replacement* untuk meminimkan total biaya perawatan baik pencegahan maupun kerusakan.

## 2. STUDI LITERATUR

### 2.1 Konsep Dasar Penjadwalan

Perawatan didefinisikan sebagai aktifitas agar komponen atau sistem yang rusak akan dikembalikan atau diperbaiki dalam suatu kondisi tertentu pada periode tertentu. Masalah perawatan mempunyai ikatan yang erat dengan tindakan (*preventive*) dan perbaikan (*corrective*) (Ebeling, 1997). Pada umumnya kebijakan perawatan penggantian dapat diklasifikasikan atas persoalan *deterministic* dan *probabilistic*, Penggantian *deterministic* terjadi jika waktu dan hasil dari tindakan penggantian tersebut diasumsikan diketahui tidak

pasti. Sebagai contoh adalah peralatan yang memiliki ongkos operasi yang meningkat sejalan dengan bertambahnya waktu penggunaan peralatan tersebut. Untuk mengatasi kondisi tersebut, dilakukan tindakan penggantian pada waktu yang telah direncanakan. Setelah melakukan penggantian maka peralatan tersebut kembali ke kondisi awal yang telah dilakukan sebelumnya.

## 2.2 Keandalan

Keandalan (*reability*) merupakan ukuran kemampuan suatu komponen atau peralatan untuk beroperasi secara terus menerus tanpa adanya kerusakan. Keandalan telah banyak didefinisikan oleh banyak ahli, diantaranya menurut Kapur (1977) adalah: "Keandalan suatu sistem adalah probabilistik dimana ketika operasi berada pada kondisi lingkungan tertentu, sistem akan menunjukkan kemampuannya sesuai dengan fungsi yang diharapkan dalam selang waktu tertentu."

Menurut Ebeling (1997) terdapat beberapa konsep yang digunakan dalam pengukuran keandalan suatu sistem, yaitu:

1. Fungsi keandalan (*reability function*)
2. Fungsi distribusi kumulatif (*the cumulative distribution function*)
3. Fungsi kepadatan probabilistik (*the probability density function*)
4. Fungsi laju kerusakan (*the hazard rate function*)

## 2.3 Penentuan Interval Waktu Pergantian Pencegahan

Didalam penentuan estimasi parameter distribusi akan didapat suatu parameter bentuk ( $\beta$ ) dan parameter skala ( $\alpha$ ). Kedua parameter tersebut kemudian akan digunakan untuk menentukan modal penentuan distribusi kerusakan. Penentuan distribusi kerusakan tersebut terdiri atas:

A. Fungsi Keandalan  $f(t)$

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

B. Fungsi Distribusi Kerusakan Kumulatif  $F(t)$

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta\right] \quad (2)$$

C. Fungsi Keandalan  $R(t)$

$$\begin{aligned} R(t) &= 1 - F(t) \\ &= \exp\left[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta\right] \end{aligned} \quad (3)$$

Setelah penentuan distribusi kerusakan maka selanjutnya adalah penentuan interval waktu penggantian pencegahan dengan menggunakan criteria minimasi ongkos total penggantian pencegahan per unit waktu. Model yang digunakan adalah salah satu model yang dikembangkan oleh A.K.S Jardine yaitu *Age Replacement*. Model *Age Replacement* dapat digambarkan sebagai siklus model *age replacement* yang pertama menunjukkan penggantian yang dilakukan karena komponen kritis telah mencapai umur penggantian pencegahan ( $t_p$ ), sedangkan siklus yang kedua menggambarkan penggantian komponen kritis dilakukan karena sudah tidak berfungsi sebagai mana mestinya atau mengalami kerusakan *failure* sebelum penggantian pencegahan berikutnya dilakukan.

Persamaan yang digunakan untuk penentuan interval waktu penggantian pencegahan dengan criteria minimasi ongkos total penggantian pencegahan adalah sebagai berikut:

$$C(t_p) = \frac{C_p \cdot R(t_p) + C_f [1 - R(t_p)]}{(t_p + T_p) + \int_{-\infty}^{t_p} t p f(t) dt + T_f [1 - R(t)]} \quad (4)$$

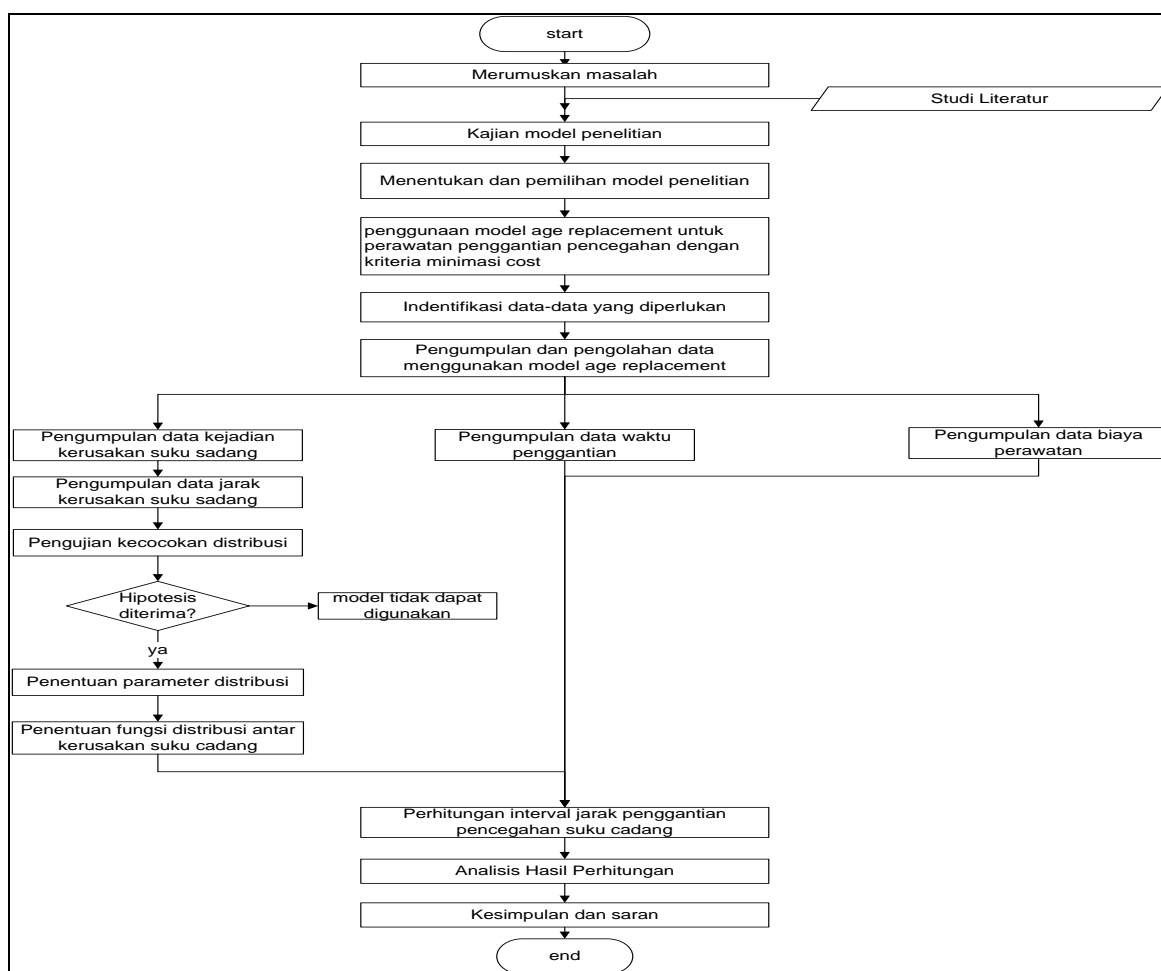
Keterangan:

$C(t_p)$  = biaya total pergantian pencegahan dengan penggantian pencegahan dalam

- interval  $t_p$
- $C_p$ = biaya untuk penggantian pencegahan
- $C_r$ = biaya untuk penggantian kerusakan
- $f(t)$ = distribusi jarak antar kerusakan
- $t_p$ = interval jarak penggantian pencegahan
- $T_p$ = jarak yang diperlukan untuk penggantian kerusakan
- $R(t_p)$ = probabilitas terjadinya siklus kondisi baik pada saat  $t_p$

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian merupakan langkah-langkah yang akan dilakukan dalam penelitian untuk mencapai tujuan yang diinginkan. Langkah-langkah pemecahan masalah dalam pengembangan algoritma ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Langkah-langkah Pemecahan Masalah

### 4. PENGUJIAN KECOCOKAN DISTRIBUSI

Distribusi Weibull dipilih karena sifatnya yang fleksibel dalam penggunaan dan mempunyai pola kerusakan yang probabilistik serta jarak kerusakannya meningkat. Penggunaan distribusi ini tergantung pada nilai parameter  $\beta$  (parameter bentuk), dan  $\beta > 1$ . Untuk menguji bahwa estimasi pola jarak antar kerusakan suku cadang sesuai dengan distribusi Weibull, maka dilakukan pengujian kecocokan bentuk distribusi antar kerusakan dengan menggunakan pengujian Weibull dua parameter yang dikenal dengan Uji S-Mann. Langkah-

langkah pengujian distribusi tersebut:

1. Menentukan kriteria pengujian  
 Ho: Data interval penggantian suku cadang mengikuti distribusi weibull  
 Hi: Data interval penggantian suku cadang tidak mengikuti distribusi weibull
2. Mengurutkan data interval penggantian suku cadang ( $T_i$ ) dari yang terkecil sampai yang terbesar
3. Menghitung nilai  $X_i = \ln T_i$
4. Menghitung nilai  $(X_{i+1} - X_i)$
5. Menentukan tingkat signifikan ( $\alpha = 5\%$ )
6. Menghitung nilai  $M_i$  yang dapat dilihat dari tabel S distribusi weibull dua parameter
7. Menghitung nilai

$$\frac{(X_{i+1} - X_i)}{M_i} \tag{5}$$

8. Menghitung nilai s

$$s = \frac{\sum_{i=\frac{r}{2}+1}^{r-1} \frac{(X_{i+1} - X_i)}{M_i}}{\sum_{i=1}^{r-1} \frac{(X_{i+1} + X_i)}{M_i}} \tag{6}$$

Dimana:  $X_i = \ln t_i$

$t_i$  = nilai tengah untuk kelas ke – 1 waktu antar kerusakan yang berasal dari n data percobaan, dimana  $i = 1,2,3,..,r$  dan  $r < n$

$r/2$  = nilai bilangan bulat terbesar  $\leq r/2$

$S_\alpha$  = diperoleh dari tabel S distribusi weibull dua parameter

**Tabel 1. Pengujian Kecocokan Distribusi**

$i$	$T_i$	$X_i = \ln T_i$	$M_i$	$X_{i+1} - X_i$	$(X_{i+1} - X_i) / M_i$	$(X_{i+1} + X_i) / M_i$
1	6574	8,7909	1,0406	0,3514		17,2342
2	9342	9,1423	0,5436	0,8630		35,2265
3	22144	10,0053	0,3804	0,2478		53,2534
4	28372	10,2532	0,3013	0,0121		68,0977
5	28718	10,2653	0,2564	0,0920		80,4197
6	31486	10,3573	0,2295	0,0109		90,3014
7	31832	10,3682	0,2140	0,6767	3,1627	100,0774
8	62626	11,0449	0,2072	0,0219	0,1055	106,7143
9	64010	11,0668	0,2091	0,1456	0,6963	106,5323
10	74044	11,2124	0,2227	0,1434	0,6441	101,3542
11	85462	11,3558	0,2583	0,1001	0,3874	88,3070
12	94458	11,4559	0,3636	0,0037	0,0101	63,0270
13	94804	11,4596				
					5,006054	910,545075

## 5. PENENTUAN PARAMETER DISTRIBUSI

### 5.1 Perhitungan Parameter Distribusi

Jika telah terbukti bahwa pola jarak antar kerusakan suku cadang kritis berdistribusi *Weibull* dua parameter maka selanjutnya kita melakukan penaksiran parameter skala ( $\alpha$ ) dan parameter bentuk ( $\beta$ ). Penaksiran besarnya parameter  $\alpha$  dan  $\beta$  dapat dilakukan dengan menggunakan metoda regresi linier.

$$\alpha = \exp \tag{6}$$

$$\beta = 1 / b \tag{7}$$

dimana nilai kedua konstanta a dan b dapat diperoleh dengan cara berikut:

$$b = \frac{N \sum_{|n|}^r X_i Y_i - \sum_{|n|}^r X_i \sum_{|n|}^r Y_i}{N \sum_{|n|}^r X_i^2 - \left( \sum_{|n|}^r X_i \right)^2} \quad (8)$$

$$a = \frac{\sum_{|n|}^r Y_i}{N} - b \frac{\sum_{|n|}^r X_i}{N} \quad (9)$$

dimana:

$$Y_i = \ln t_i \quad (10)$$

$$X_i = \ln \left[ \ln \left\{ 1 - F(t_i) \right\}^{-1} \right] \quad (11)$$

$$F(t_i) = \frac{(i-0,3)}{(n+0,4)} \quad (12)$$

**Tabel 2. Perhitungan Parameter Distribusi**

<i>i</i>	<i>T<sub>i</sub></i>	<i>F(T<sub>i</sub>)</i>	<i>X<sub>i</sub></i>	<i>Y<sub>i</sub></i>	<i>X<sub>i</sub> · Y<sub>i</sub></i>	<i>X<sub>i</sub><sup>2</sup></i>
1	6574	0,0522	-2,9252	8,7909	-25,7153	8,5569
2	9342	0,1269	-1,9976	9,1423	-18,2622	3,9902
3	22144	0,2015	-1,4916	10,0053	-14,9240	2,2249
4	28372	0,2761	-1,1297	10,2532	-11,5830	1,2762
5	28718	0,3507	-0,8395	10,2653	-8,6176	0,7047
6	31486	0,4254	-0,5905	10,3573	-6,1163	0,3487
7	31832	0,5000	-0,3665	10,3682	-3,8001	0,1343
8	62626	0,5746	-0,1569	11,0449	-1,7330	0,0246
9	64010	0,6493	0,0466	11,0668	0,5156	0,0022
10	74044	0,7239	0,2523	11,2124	2,8284	0,0636
11	85462	0,7985	0,4713	11,3558	5,3515	0,2221
12	94458	0,8731	0,7249	11,4559	8,3050	0,5256
13	94804	0,9478	1,0825	11,4596	12,4045	1,1717
			-6,9200	136,7779	-61,3466	19,2459

## 5.2 Perhitungan Fungsi Distribusi Antar Kerusakan

Didalam penentuan estimasi parameter distribusi akan didapat suatu parameter bentuk ( $\beta$ ) dan parameter skala ( $\alpha$ ). Kedua parameter tersebut kemudian akan digunakan untuk model menentukan distribusi kerusakan antar kerusakan. Penentuan distribusi kerusakan tersebut terdiri dari:

- Fungsi Kepadatan Probabilistik  $f(t)$

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

$$= \frac{13578}{54908,301} \left( \frac{t}{54908,301} \right)^{1,3578-1} \exp \left[ - \left( \frac{t}{54908,301} \right)^{1,3578} \right]$$

- Fungsi Distribusi Kerusakan Kumulatif  $F(t)$

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

$$= 1 - \exp \left[ - \left( \frac{t}{54908,3014} \right)^{1,3578} \right]$$

- Fungsi Keandalan  $R(t)$

$$R(t) = 1 - F(t)$$

$$= - \exp \left[ - \left( \frac{t}{54908,3014} \right)^{1,3578} \right]$$

- Fungsi Laju Kerusakan  $r(t)$

$$r(t) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta-1}$$

$$= \frac{1,3578}{54908,3014} \left(\frac{t}{54908,3014}\right)^{1,3578-1}$$

- Rata-rata umur komponen

$$MTTF = \alpha \Gamma \left[ 1 + \frac{1}{\beta} \right]$$

$$= 54908,3014 \Gamma \left[ 1 + \frac{1}{1,3578} \right]$$

$$= 54908,3014 \Gamma [1,7364]$$

$$= 54908,3014 \times 0,91683 = 50.341 \text{ km} \approx 143 \text{ hari}$$

### 5.3 Penentuan Interval Jarak Penggantian Pencegahan

Penentuan interval jarak penggantian pencegahan dilakukan berdasarkan umur suku cadang kritis (model *age replacement*). Model ini bertujuan untuk menentukan umur penggantian pencegahan yang optimal yang dapat meminimasi total biaya perawatan per unit waktu (Jardine, 1973).

$$C(t_p) = \frac{C_p \cdot R(t_p) + C_f [1 - R(t_p)]}{(t_p + T_p) + \int_{-\infty}^{t_p} t p f(t_p) dt p + T_f [1 - R(t)]} \tag{13}$$

Keterangan:

$C(t_p)$  = biaya total pergantian pencegahan dengan penggantian pencegahan dalam interval

$t_p$

$C_p$  = biaya untuk penggantian pencegahan

$C_f$  = biaya untuk penggantian kerusakan

$f(t)$  = distribusi jarak antar kerusakan

$t_p$  = interval jarak penggantian pencegahan

$T_p$  = jarak yang diperlukan untuk penggantian kerusakan

$R(t_p)$  = probabilitas terjadinya siklus kondisi baik pada saat  $t_p$

**Tabel 3. Interval Penggantian Pencegahan**

interval penggantian pencegahan	biaya penggantian pencegahan	biaya penggantian kerusakan	Waktu Penggantian Pencegahan	Waktu Penggantian Kerusakan	Fungsi Keandalan	Fungsi Ketidakan dalam	Probability density function	rata-rata waktu terjadinya kerusakan	ekspektasi total biaya penggantian pencegahan per hari
$t_p$ (hari)	$C_p$	$C_f$	$T_p$	$T_f$	$R(t_p)$	$1-R(t_p)$	$f(T)$	$M(t_p)$	$C(t_p)$
50	Rp69.715.606	Rp96.891.606	0,104166667	0,166666667	0,81186	0,18814	0,00460	5,2640	Rp1.858.126,46
70	Rp69.715.606	Rp96.891.606	0,104166667	0,166666667	0,71955	0,28045	0,00459	10,8030	Rp1.445.006,90
90	Rp69.715.606	Rp96.891.606	0,104166667	0,166666667	0,62941	0,37059	0,00440	18,0080	Rp1.257.514,71
110	Rp69.715.606	Rp96.891.606	0,104166667	0,166666667	0,54445	0,45555	0,00409	26,4940	Rp1.138.763,25
130	Rp69.715.606	Rp96.891.606	0,104166667	0,166666667	0,46637	0,53363	0,00372	35,8530	Rp1.153.646,12
150	Rp69.715.606	Rp96.891.606	0,104166667	0,166666667	0,39600	0,60400	0,00033	45,6940	Rp988.400,24
170	Rp69.715.606	Rp96.891.606	0,104166667	0,166666667	0,33356	0,66644	0,00293	55,6730	Rp934.792,74
190	Rp69.715.606	Rp96.891.606	0,104166667	0,166666667	0,27889	0,72111	0,00253	65,5010	Rp889.813,90
210	Rp69.715.606	Rp96.891.606	0,104166667	0,166666667	0,23159	0,76841	0,00219	74,9520	Rp851.647,62
230	Rp69.715.606	Rp96.891.606	0,104166667	0,166666667	0,19107	0,80893	0,00187	83,8560	Rp819.220,79
250	Rp69.715.606	Rp96.891.606	0,104166667	0,166666667	0,15669	0,84331	0,00158	92,0990	Rp791.761,96
270	Rp69.715.606	Rp96.891.606	0,104166667	0,166666667	1,00000	0,00000	0,00132	99,6150	Rp258.106,37
290	Rp69.715.606	Rp96.891.606	0,104166667	0,166666667	1,00000	0,00000	0,00110	106,3730	Rp240.312,32

## 6. KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian adalah:

1. Distribusi laju kerusakan yang diuji untuk menyelesaikan permasalahan penggantian pencegahan suku cadang yang optimal dengan kriteria minimisasi *cost*.
2. Solusi terbaik dari interval penggantian pencegahan yang optimal dapat meminimasi pengeluaran biaya perawatan dan mengurangi kerugian-kerugian akibat terjadi kerusakan ataupun resiko menurunnya loyalitas pelanggan.
3. Keandalan suatu sistem semakin menurun sejalan bertambahnya umur komponen.

## REFERENSI

Ebeling, Charles.E. 1997. *Reliability and Maintainability*. A Division Mc Graw Hill International Companies.

Jardine, A.K.S. 1973. *Maintenance, Replacement, and Reliability*. Departemen Of Engineering Production University of Birmingham.

Kapur. 1997. *Availability*. The Mc Graw Hill Company, Inc. Singapore.