

PENJADWALAN PERAWATAN PENCEGAHAN KOMPONEN KOPLING DAN REM PADA MOBIL PANCAR DI DINAS PENCEGAHAN DAN PENANGGULANGAN KEBAKARAN KOTA BANDUNG*

R. NENENG KHOIRUNNISA, KUSMANINGRUM, FIFI HERNI M

Jurusan Teknik Industri
Institut Teknologi Nasional (Itenas) Bandung

Email: rdnenengkhoirunnisa@yahoo.com

ABSTRAK

Mobil pemadam kebakaran merupakan salah satu sarana yang penting untuk membantu kelancaran proses kerja pemadam kebakaran. Mobil pemadam kebakaran selayaknya berada dalam kondisi yang baik agar selalu siaga saat dibutuhkan. Dari semua jenis mobil yang dimiliki, mobil pancar merupakan mobil yang selalu diberangkatkan ketika kejadian kebakaran berlangsung. Saat ini belum terdapat tindakan perawatan pencegahan bagi perawatan mobil tersebut. Komponen yang sering mengalami kerusakan (kritis) adalah kopling (plat kopling) dan rem (pirodo rem). Kerusakan komponen kritis dapat menimbulkan kerugian bagi masyarakat karena mengakibatkan keterlambatan pihak damkar datang ke lokasi kejadian. Oleh karena itu diperlukan penjadwalan perawatan yang optimal. Metode yang digunakan untuk menghitung interval penggantian kerusakan adalah metode age replacement

Kata kunci: *Mobil pancar, penjadwalan perawatan, age replacement*

ABSTRACT

A fire truck is an important vehicle to help the process of firefighters's work. A fire truck should be in a good condition when needed. From all of the vehicles that firefighter use, a fire engine is a vehicle that always used when a fire incident happens. There is currently no preventive action for the vehicle's maintenance. Parts which are most often damaged (critical) are the clutch (clutch plate) and the brake (pirodo brake). A damaged critical parts can cause harm to the community, thus it cause firefighters' delayed to the scene. Therefore, it is necessary to make an optimal maintenance scheduling. The method used to calculate the damage replacement interval is age replacement method.

Keywords: *Fire engine, maintenance scheduling, 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

Dinas Pencegahan Penanggulangan Kebakaran (damkar) adalah unsur pelaksana pemerintah yang diberi tanggung jawab dalam melaksanakan tugas-tugas penanganan masalah kebakaran, termasuk didalamnya adalah dinas gawat darurat. Dalam menunjang pekerjaannya tentu tidak terlepas dari sarana penting yang dioperasikan, mobil pemadam kebakaran merupakan salah satu sarana yang penting untuk membantu kelancaran proses kerja pemadam kebakaran. Saat ini damkar Kota Bandung memiliki memiliki 30 unit mobil pemadam kebakaran, yang terdiri dari mobil pancar (pompa penggerak), mobil bertangga (*leader*), mobil tangki, mobil snorkel, mobil *fire rescue*, mobil *quick respon*, mobil *blower*, dan mobil komando.

Dari semua jenis mobil yang dimiliki, mobil pancar merupakan mobil yang selalu diberangkatkan ketika kejadian kebakaran berlangsung karena mobil tersebut merupakan mobil yang lengkap yaitu terdapat tangki air, selang pemancar dan tangga. Untuk itu dalam penelitian ini difokuskan pada mobil tersebut. Menurut hasil wawancara dengan pihak teknisi dan dokumentasi pihak damkar, komponen yang sering mengalami kerusakan adalah kopling (komponen plat kopling) dan rem (komponen pirodo rem) sehingga kedua komponen ini dapat merupakan komponen kritis.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan hasil uraian di atas dapat dilihat bahwa tindakan perawatan sangat penting, agar mobil pancar terhindar dari mengalami kerusakan saat digunakan. Bila terjadi kerusakan saat digunakan dapat menyebabkan kerugian bagi masyarakat. Kerugian tersebut dapat diakibatkan kebakaran semakin meluas. Dalam penjadwalan perawatan terdapat kilometer atau interval penggantian sebagai acuan untuk melakukan penggantian pencegahan. Metode yang digunakan untuk menentukan interval penggantian kerusakan adalah metode *age replacement*. Metode *age replacement* merupakan metode perawatan penggantian komponen dengan menentukan umur komponen yang optimal berdasarkan ongkos terkecil (Jardine, 1973).

2. STUDI LITERATUR

2.1 Perawatan

Menurut Ebeling (1997), perawatan atau *maintenance* adalah aktivitas agar suatu komponen atau sistem yang rusak dikembalikan atau diperbaiki dalam suatu kondisi tertentu pada periode tertentu. Telah diketahui bahwa peralatan atau mesin yang digunakan secara terus menerus (*continue*) meningkatkan laju kerusakan yang kemudian mempengaruhi tingkat ketersediaan (*availability*) peralatan atau mesin, dimana semakin tinggi laju kerusakan maka tingkat ketersediaan semakin rendah. Tujuan utama dilakukannya perawatan yaitu untuk mengupayakan agar peralatan atau mesin mampu dioperasikan secara terus menerus (*continue*) dalam jangka waktu tertentu sesuai dengan rencana tanpa mengalami kerusakan.

2.2 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. Pada *block replacement*, penggantian pencegahan dilakukan pada interval pasti dengan mengabaikan umur komponen.

2.3 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.

$$C(t_p) = \frac{C_p \times R(t_p) + (C_f \times [1 - R(t_p)])}{(t_p + T_p)R(t_p) + \int_{-\infty}^{t_p} t_p f(t_p) dt_p + T_f [1 - R(t_p)]} \quad (1)$$

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 terjadi pada Dinas Pencegahan dan Penanggulangan Kebakaran Kota Bandung yaitu tidak adanya kebijakan penggantian pencegahan untuk komponen, sehingga komponen diganti apabila komponen tersebut rusak. Kerusakan yang sering terjadi dialami pada kopling dan rem. Komponen yang dipilih pada kopling yaitu plat kopling sedangkan pada rem yaitu pirodo rem. Untuk komponen plat kopling dapat menyebabkan komponen pendukungnya rusak seperti drek lahar dan dekrup.

Kerusakan komponen dapat menyebabkan keterlambatan mobil datang ke lokasi kejadian, hal ini mengakibatkan kerugian bagi masyarakat. Mengingat kejadian kebakaran yang selalu datang tak terduga mengharuskan mobil dalam kondisi baik saat dibutuhkan. Untuk itu masalah yang diselesaikan berkaitan dengan usulan penggantian pencegahan komponen kopling dan rem berdasarkan ongkos terkecil.

3.2 Pengumpulan Data

Pengumpulan data ini melalui wawancara pihak yang bersangkutan, mengumpulkan arsip yang dimiliki perusahaan, dan melakukan pengamatan secara langsung. Data-data yang dikumpulkan merupakan data pada Januari-Desember 2013, yaitu: data kerusakan komponen, data kejadian kebakaran, data waktu penggantian pencegahan dan kerusakan, dan biaya penggantian komponen.

3.3 Pengolahan Data

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

3.3.1 Perhitungan Rata-rata Jarak Tempuh

Pada data kejadian kebakaran hanya terdapat lokasi kejadian, sehingga perlu dilakukan perhitungan untuk mengetahui jarak tempuh yang dialami mobil pemadam dari pos pusat ke lokasi kejadian kebakaran. Dalam menentukan berapa jauh jarak tersebut, digunakan aplikasi *google maps*. Kategori rute yang dipilih mobil dan jarak yang diambil yaitu jarak terpendek dengan mempertimbangkan kondisi jalan yang dapat dilalui mobil pemadam kebakaran.

Setelah dilakukan perhitungan jarak tempuh mobil, selanjutnya ditentukan rata-rata jarak tempuh per hari mobil tersebut. Jarak pada seluruh kejadian kebakaran dirata-ratakan dengan menjumlahkan seluruh jarak dan dibagi dengan banyaknya hari dalam satu tahun (2013 = 365 hari). Angka tersebut yang menjadi faktor konversi pada perhitungan interval kerusakan.

Dalam data kerusakan komponen juga terdapat tanggal kerusakan, tanggal kerusakan ini dihitung selang antar kerusakannya. Dalam penelitian ini seluruh perhitungan dihitung dalam satuan kilometer sehingga selang waktu antar kerusakan dikalikan dengan jarak tempuh per hari yang telah didapat, sehingga data ini digunakan dalam pengujian distribusi kerusakan.

3.3.2 Pengujian Distribusi Kerusakan dan Parameter Distribusi

Distribusi yang digunakan untuk melihat pola kerusakan pada data interval kilometer kerusakan adalah distribusi Weibull dua parameter. Parameter yang dimaksud yaitu parameter skala (α) dan parameter bentuk (β). Sebelum data ini dinyatakan termasuk kedalam distribusi Weibull maka dilakukan pengujian kecocokan distribusi dengan menggunakan Uji Mann.

Jika data tersebut berdistribusi Weibull 2 parameter maka selanjutnya melakukan perhitungan estimasi parameter yaitu dengan menghitung nilai parameter skala (α) dan parameter bentuk (β) untuk masing-masing komponen. Estimasi parameter dilakukan dengan menggunakan metode regresi linier. Untuk mendapatkan nilai X_i dapat dilakukan dengan menafsir fungsi kumulatif $F(t_i)$, terdapat beberapa fungsi kumulatif yang dapat digunakan, salah satunya, yaitu:

$$F(t_i) = \frac{i-0,3}{n+0,4} \quad (2)$$

dengan menggunakan metode *least square*, nilai konstanta a dan b dapat diperoleh sebagai berikut:

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n Y_i}{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2} \quad (3)$$

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

sehingga dua parameter Weibull dapat diperoleh dengan:

$$\alpha = \exp(a) \quad (4)$$

$$\beta = \frac{1}{b} \quad (5)$$

3.3.3 Perhitungan Fungsi Distribusi

Setelah menghitung nilai parameter skala (α) dan parameter bentuk (β) selanjutnya melakukan perhitungan beberapa fungsi distribusi, yaitu:

1. Fungsi keandalan (*Reliability Function*)

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

2. Fungsi distribusi kumulatif kerusakan (*Cumulative Distribution Function*)

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

3. Fungsi kepadatan peluang kerusakan (*Probability Distribution Function*)

$$f(t) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta\right] \quad (8)$$

4. Fungsi laju kerusakan (*Hazard Function*)

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta-1} \quad (9)$$

3.3.4 Ekspektasi Perhitungan Kerugian Akibat Kerusakan Mobil Pemadam Kebakaran

Dalam data kejadian kebakaran terdapat lamanya pemadaman dan taksiran kerugian yang dialami akibat kebakaran berlangsung. Untuk menghitung taksiran kerugian/jam dan rata-rata/jam yaitu dengan membagi taksiran kerugian dengan lamanya waktu pemadaman dan merata-ratakan seluruh taksiran kerugian setiap kejadian. Setelah didapat taksiran rata-rata kerugian per jam untuk masing-masing kondisi selanjutnya menghitung rata-rata ekspektasi kerugian terbobot dengan rumus:

$$\text{Rata-rata ekspektasi kerugian} = \frac{\sum(\frac{\text{kejadian kondisi } i}{\text{jumlah kejadian seluruh kondisi}} \times \text{rata-rata kerugian/jam})}{\text{jumlah kejadian seluruh kondisi}} \quad (10)$$

4. PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Berikut pengumpulan dan pengolahan data yang dilakukan pada penelitian ini:

4.1 Data Kerusakan Komponen

Berikut merupakan data kerusakan komponen kopling dan rem pada mobil pancar dengan nomor mobil 112 di Tahun 2013:

Tabel 1. Kerusakan Komponen Kopling

No	Tanggal	Kerusakan
1	23/03/2013	plat kopling
		dekrup
		drek lahar
2	16/04/2013	plat kopling
		dekrup
		drek lahar
3	18/06/2013	plat kopling
		dekrup
		drek lahar
4	29/07/2013	plat kopling
		dekrup
		drek lahar

Tabel 2. Kerusakan Komponen Rem

No	Tanggal	Kerusakan
1	16/04/2013	Pirodo rem
2	18/06/2013	Pirodo rem
3	29/07/2013	Pirodo rem

4.2 Perhitungan Rata-Rata Jarak Tempuh

Dari data perhitungan jarak tempuh, untuk menghitung rata-rata tempuh per harinya adalah dengan menjumlahkan seluruh jarak tempuh kejadian kebakaran lalu dibagi jumlah hari dalam satu tahun. Jarak tempuh total kejadian sebesar 1160 km. Dalam tahun 2013 terdapat 365 hari sehingga:

$$\text{Jarak tempuh/hari} = 1160/365 = 3,178 \text{ km/hari}$$

Untuk mencari kilometer kerusakan yaitu: diasumsikan pada tanggal 1 Januari 2013 mobil kembali ke angka 0 atau mobil dalam keadaan seperti semula. Sebagai contoh interval kerusakan untuk komponen rem dari 1 Januari 2013 ke 23 Maret 2013 yaitu:

Interval kilometer kerusakan = selang antar kerusakan x jarak tempuh/hari
 = 81 hari x 3,178 km/hari
 = 257,425

Tabel 3. Interval Kilometer Kerusakan

Kopling	Interval km kerusakan (km)	Rem	Interval km kerusakan (km)
23/03/2013	257,425	16/04/2013	333,699
16/04/2013	76,274	18/06/2013	200,219
18/06/2013	200,219	29/07/2013	130,301
29/07/2013	130,301		

Berdasarkan hasil wawancara waktu penggantian pencegahan komponen kopling yang digunakan hanya penggantian komponen plat kopling saja yaitu sebesar 4,9 jam, sedangkan untuk penggantian kerusakan, komponen kopling yang diganti yaitu plat kopling, drek lahar, dan dekrup dengan waktu yang dibutuhkan sebesar 5,4 jam. Untuk komponen rem (pirodo rem) waktu yang dibutuhkan baik pencegahan maupun kerusakan dibutuhkan waktu 4 jam. Pada rumus (Ct_p), data (T_p) dan (T_f) masih dalam satuan jam sehingga diperlukan konversi ke dalam satuan kilometer agar dapat digunakan dalam perhitungan (Ct_p). Berikut uraian pengkonversian waktu penggantian komponen:

1. Kopling

$$T_p = \frac{4,9 \text{ jam}}{24 \text{ jam/hari}} \times 3,178 \text{ km/hari}$$

$$= 0,653 \text{ km}$$

$$T_f = \frac{5,4 \text{ jam}}{24 \text{ jam/hari}} \times 3,178 \text{ km/hari}$$

$$= 0,719 \text{ km}$$

2. Pirodo Rem

$$T_p = T_f = \frac{4 \text{ jam}}{24 \text{ jam/hari}} \times 3,178 \text{ km/hari}$$

$$= 0,530 \text{ km}$$

4.3 Pengujian Distribusi Kerusakan dan Parameter Distribusi

Berikut merupakan langkah-langkah pengujian distribusi kerusakan yang digunakan pada Uji Mann:

a. Komponen Kopling

1. Menentukan hipotesis penelitian:

H_0 : Pola waktu antar kerusakan berdistribusi Weibull dua parameter

H_1 : Pola waktu antar kerusakan tidak berdistribusi Weibull dua parameter

2. Menentukan taraf signifikan (α) yang digunakan yaitu sebesar 5% atau 0,05

3. Bentuk distribusi yang digunakan adalah distribusi F

4. Perhitungan nilai statistik:

$$k_1 = \left[\frac{r}{2} \right] = \left[\frac{4}{2} \right] = 2$$

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

$$v_1 = 2 \times k_2 = 2 \times 1 = 2$$

$$v_2 = 2 \times k_1 = 2 \times 2 = 4$$

Tabel 4. Perhitungan Uji Hipotesa Distribusi Weibull Komponen Kopling

n	km (t_i)	$X_i = \ln(t_i)$	Z_i	M_i	$(X_{i+1}) - X_i$	$((X_{i+1}) - X_i) / M_i$	Sum
1	76,274	4,334	-2,078	1,246	0,536	0,430	1,033
2	130,301	4,870	-0,832	0,712	0,430	0,603	
3	200,219	5,299	-0,120	0,670	0,251	0,375	0,375
4	257,425	5,551	0,551				

$$X_i = \ln(t_i) = \ln(76,274) = 4,334$$

$$Z_i = \ln[-\ln[1 - \frac{n-0,5}{K+0,25}]] = \ln[-\ln[1 - \frac{1-0,5}{4+0,25}]] = -2,078$$

$$M_i = Z_{i+1} - Z_i = -0,832 - (-2,078) = 1,246$$

$$(X_{i+1})-X_i = 4,870-4,334 = 0,536$$

$$((X_{i+1})-X_i)/M_i = 0,536/1,246 = 0,430$$

$$M = \frac{k_1 \sum_{i=k_1+1}^{r-1} \left[\frac{(ln_{i+1}-ln_i)}{M_i} \right]}{k_2 \sum_{i=1}^{k_1} \left[\frac{(ln_{i+1}-ln_i)}{M_i} \right]} = \frac{2 \times 0,375}{1 \times 1,033} = 0,726$$

$$F_{tabel (0.05.2.4)} = 6,94$$

5. Kesimpulan dari perhitungan di atas dapat dilihat bahwa nilai $M < F_{tabel}$, maka H_0 dapat diterima dan kerusakan berdistribusi Weibull dua parameter.

b. Komponen Rem

1. Menentukan hipotesis penelitian:

H_0 : Pola waktu antar kerusakan berdistribusi Weibull dua parameter

H_1 : Pola waktu antar kerusakan tidak berdistribusi Weibull dua parameter

2. Menentukan taraf signifikan (α) yang digunakan yaitu sebesar 5% atau 0,05

3. Bentuk distribusi yang digunakan adalah distribusi F

4. Perhitungan nilai statistik:

$$k_1 = \left[\frac{r}{2} \right] = \left[\frac{3}{2} \right] = 1$$

$$k_2 = \left[\frac{r-1}{2} \right] = \left[\frac{3-1}{2} \right] = 1$$

$$v_1 = 2 k_2 = 2 \times 1 = 2$$

$$v_2 = 2 k_1 = 2 \times 1 = 2$$

Tabel 5. Perhitungan Uji Hipotesa Distribusi Weibull Komponen Rem

n	km (t)	$X_i = \ln(t_i)$	Z_i	M_i	$(X_{i+1})-X_i$	$((X_{i+1})-X_i) / M_i$
1	130,301	4,870	-1,789	1,310	0,430	0,328
2	200,219	5,299	-0,480	0,862	0,511	0,592
3	333,699	5,810	0,383			

$$X_i = \ln(t_i) = \ln(130,301) = 4,870$$

$$Z_i = \ln[-\ln[1 - \frac{n-0,5}{K+0,25}]] = \ln[-\ln[1 - \frac{1-0,5}{3+0,25}]] = -1,789$$

$$M_i = Z_{i+1} - Z_i = -0,480 - (-1,789) = 1,310$$

$$(X_{i+1})-X_i = 5,299 - 4,870 = 0,430$$

$$((X_{i+1})-X_i)/M_i = 0,430/1,310 = 0,328$$

$$M = \frac{k_1 \sum_{i=k_1+1}^{r-1} \left[\frac{(ln_{i+1}-ln_i)}{M_i} \right]}{k_2 \sum_{i=1}^{k_1} \left[\frac{(ln_{i+1}-ln_i)}{M_i} \right]} = \frac{1 \times 0,592}{1 \times 0,328} = 1,81$$

$$F_{tabel (0.05.2.2)} = 19$$

5. Kesimpulan dari perhitungan di atas dapat dilihat bahwa nilai $M < F_{tabel}$, maka H_0 dapat diterima dan kerusakan berdistribusi Weibull dua parameter.

Berdasarkan hasil pengujian distribusi selanjutnya melakukan perhitungan parameter distribusinya. Berikut merupakan perhitungan parameter distribusi untuk masing-masing komponen.

a. Komponen Kopling

Tabel 6. Perhitungan Parameter Distribusi Komponen Kopling

i	Kilometer (t)	$Ft(i)$	X_i	Y_i	$X_i * Y_i$	X_i^2
1	76,274	0,159	-1,753	4,334	-7,598	3,073
2	130,301	0,386	-0,717	4,870	-3,490	0,514
3	200,219	0,614	-0,050	5,299	-0,266	0,003
4	257,425	0,841	0,609	5,551	3,379	0,371
Total			-1,911	20,054	-7,975	3,960

$$b = \frac{4x(-7,975) - (-1,911)x 20,054}{4x(3,960) - (-1,911)^2} = 0,527$$

$$a = \frac{20,054}{4} - 0,527 \frac{(-1,911)}{4} = 5,265$$

$$a = \exp(5,265) = 193,541$$

$$\beta = \frac{1}{0,527} = 1,897$$

b. Komponen Rem

Tabel 7. Perhitungan Parameter Distribusi Komponen Rem

i	Kilometer (ti)	F _i (t)	X _i	Y _i	X _i *Y _i	X _i ²
1	130,301	0,206	-1,467	4,870	-7,146	2,153
2	200,219	0,500	-0,367	5,299	-1,942	0,134
3	333,699	0,794	0,458	5,810	2,659	0,209
Total			-1,376	15,980	-6,429	2,497

$$b = \frac{3x(-6,429) - (-1,376)x 15,980}{3x(2,497) - (-1,376)^2} = 0,483$$

$$a = \frac{15,980}{3} - 0,483 \frac{(-1,376)}{3} = 5,548$$

$$a = \exp(5,548) = 256,757$$

$$\beta = \frac{1}{0,483} = 2,070$$

4.4 Perhitungan Fungsi Distribusi

a. Fungsi Distribusi Komponen Kopling

1. Fungsi keandalan (*Reliability Function*)

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{193,541}\right)^{1,897}\right]$$

2. Fungsi distribusi kumulatif kerusakan (*Cumulative Distribution Function*)

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{193,541}\right)^{1,897}\right]$$

3. Fungsi kepadatan peluang kerusakan (*Probability Distribution Function*)

$$f(t) = \frac{1,897}{193,541} \left(\frac{t}{193,541}\right)^{1,897-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{193,541}\right)^{1,897}\right]$$

4. Fungsi laju kerusakan (*Hazard Function*)

$$\lambda(t) = \frac{1,897}{193,541} \left(\frac{t}{193,541}\right)^{1,897-1}$$

b. Fungsi Distribusi Komponen Rem

1. Fungsi keandalan (*Reliability Function*)

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{256,757}\right)^{2,070}\right]$$

2. Fungsi distribusi kumulatif kerusakan (*Cumulative Distribution Function*)

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{256,757}\right)^{2,070}\right]$$

3. Fungsi kepadatan peluang kerusakan (*Probability Distribution Function*)

$$f(t) = \frac{2,070}{256,757} \left(\frac{t}{256,757}\right)^{2,070-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{256,757}\right)^{2,070}\right]$$

4. Fungsi laju kerusakan (*Hazard Function*)

$$\lambda(t) = \frac{2,070}{256,757} \left(\frac{t}{256,757}\right)^{2,070-1}$$

4.5 Ekspektasi Perhitungan Kerugian Akibat Kerusakan Mobil Pemadam Kebakaran

Berdasarkan hasil wawancara terjadi kerusakan mobil atau mobil mogok diperjalanan maka kebijakan yang ditempuh selama ini adalah mengirimkan mobil pengganti. Pada situasi demikian maka terjadi keterlambatan penanganan kebakaran. Lama keterlambatan tersebut

bervariasi tergantung dari jarak lokasi kebakaran dan kepadatan lalu lintas menuju lokasi tersebut. Berikut merupakan taksiran rata-rata kerugian/jam dengan banyaknya kejadian berdasarkan jenis yang terbakar.

Tabel 8. Taksiran Kerugian/jam

Jenis Terbakar	Banyak kejadian	Taksiran Kerugian/jam
Rumah	17	Rp71.011.679
Gudang	4	Rp38.546.366
Toko	5	Rp63.899.526
Lain-lain	4	Rp49.703.040

$$\text{Ekspektasi kerugian} = \frac{\left(\frac{17}{30} \times \text{Rp}71.011.679\right) + \left(\frac{4}{30} \times \text{Rp}38.546.366\right) + \left(\frac{5}{30} \times \text{Rp}63.899.526\right) + \left(\frac{4}{30} \times \text{Rp}49.703.040\right)}{30}$$

$$= \text{Rp } 2.088.549 \text{ /jam}$$

Perhitungan tersebut kemudian dikonversikan ke dalam bentuk Rp. Berdasarkan hasil wawancara, kecepatan mobil pemadam kebakaran sebesar 60 km/jam dan jarak tempuh mobil sebesar 6,7 km, maka dapat diketahui waktu yang dibutuhkan mobil pemadam datang ke lokasi kejadian dengan cara:

$$t = s/v$$

$$= (6,7 \text{ km}) / (60 \text{ km/jam}) = 0,112 \text{ jam}$$

$$\text{Sehingga, ekspektasi kerugian} = \text{Rp } 2.088.549 \text{ /jam} \times 0,112 \text{ jam}$$

$$= \text{Rp } 233.917$$

4.6 Perhitungan Biaya Penggantian Komponen

Biaya komponen terdapat dua macam yaitu biaya penggantian pencegahan dan biaya penggantian kerusakan.

1. Biaya Penggantian Pencegahan Komponen

Dalam penggantian pencegahan biaya yang digunakan hanya harga komponen yang mengalami kerusakan.

Tabel 9. Biaya Penggantian Pencegahan Komponen

Kopling	Biaya (Rp)	Rem	Biaya (Rp)
Plat Kopling	834.000	Pirodo rem	318.000

2. Biaya Penggantian Kerusakan Komponen

Biaya yang termasuk ke dalam biaya penggantian kerusakan komponen yaitu harga komponen dan ekspektasi biaya kerugian akibat kerusakan mobil pemadam kebakaran. Kerusakan pada komponen plat kopling dapat menyebabkan komponen pendukungnya rusak seperti drek lahar dan dekrup untuk itu pada penggantian kerusakan terdapat harga dekrup dan drek lahar.

Tabel 10. Harga Komponen Penggantian Kerusakan

Kopling	Biaya (Rp)	Rem	Biaya (Rp)
Plat Kopling	834.000	Pirodo rem	318.000
Dekrup	1.276.000		
Dek lahar	385.000		
Total (Rp)	2.495.000	Total (Rp)	318.000

Tabel 11. Biaya Penggantian Kerusakan Komponen

Data Biaya	Kopling	Rem
Harga Komponen (Rp)	2.495.000	318.000
Ekspektasi Kerugian (Rp)	233.917	233.917
Total (Rp)	2.728.917	551.917

4.7 Perhitungan Interval Penggantian Pencegahan Komponen

Hasil perhitungan interval penggantian kerusakan untuk komponen kopling, biaya terus turun hingga km 140 dan naik kembali di km 150 km. Oleh karena itu, km 140 merupakan titik optimal dengan ekspektasi biaya penggantian sebesar Rp 13.743/km. Pada komponen rem biaya terus turun hingga km 320 dan naik kembali di km 330, maka ekspektasi biaya

penggantian pada km 320 sebesar Rp 2380/km. Tabel perhitungan interval penggantian pencegahan dapat dilihat pada Tabel 12 dan Tabel 13.

Tabel 12. Interval Penggantian Pencegahan Komponen Kopling

Interval Penggantian Pencegahan	Biaya Penggantian Pencegahan (Rp)	Biaya Penggantian Kerusakan (Rp)	Fungsi Keandalan (Reliability)	<i>cumulative Distribution Function</i>	<i>Mean Time To Failure</i>	Ekspektasi Total Biaya Penggantian Pencegahan Per Km (Rp)
tp (km)	Cp	Cf	R(tp)	1-R(tp)	M(tp)	C(tp)
0			1			
120	834.000	2.728.917	0,668	0,332	25,000	13.834,466
130	834.000	2.728.917	0,625	0,375	30,349	13.759,566
140	834.000	2.728.917	0,582	0,418	36,127	13.742,822
150	834.000	2.728.917	0,540	0,460	42,277	13.768,825
160	834.000	2.728.917	0,498	0,502	48,733	13.826,271

Berikut merupakan hasil contoh perhitungan pada tabel di atas:

$$\begin{aligned}
 R(t) &= \exp\left[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta\right] \\
 &= \exp\left[-\left(\frac{140}{193,541}\right)^{1,897}\right] \\
 &= 0,582 \\
 1 - R(t) &= 1 - 0,582 = 0,418 \\
 C(t_p) &= \frac{834.000 \times 0,582 + 2.728.917 \times [0,418]}{(140+0,653)0,582 + 36,127 + 0,719 [0,418]} = \text{Rp } 13.742.822/\text{km}
 \end{aligned}$$

Tabel 13. Interval Penggantian Pencegahan Komponen Rem

Interval Penggantian Pencegahan	Biaya Penggantian Pencegahan (Rp)	Biaya Penggantian Kerusakan (Rp)	Fungsi Keandalan (Reliability)	<i>Cumulative Distribution Function</i>	<i>Mean Time To Failure</i>	Ekspektasi Total Biaya Penggantian Pencegahan Per Km (Rp/km)
tp (km)	Cp	Cf	R(tp)	1-R(tp)	M(tp)	C(tp)
0			1			
300	318.000	551.917	0,252	0,748	130,994	2382
310	318.000	551.917	0,228	0,772	138,080	2381
320	318.000	551.917	0,207	0,793	144,944	2380
330	318.000	551.917	0,186	0,814	151,557	2381
340	318.000	551.917	0,167	0,833	157,893	2382

Perhitungan interval penggantian untuk komponen rem menggunakan rumus yang sama dengan kopling.

5. ANALISIS

5.1 Analisis Data Kerusakan

Waktu kerusakan yang singkat kemungkinan diakibatkan oleh pemasangan yang kurang sempurna atau dalam pemasangannya terburu-buru sehingga saat mobil digunakan pada beban kerja yang berat mobil cepat kembali rusak terutama pada komponen plat kopling, serta kondisi jalan yang buruk dapat mempengaruhi pemakaian kedua komponen ini. Sebaliknya, untuk waktu antar kerusakan yang jauh selain akibat pemasangan yang sempurna, beban kerja dapat dikatakan wajar terutama dalam kebakaran yang tidak terlalu besar.

5.2 Analisis Distribusi Waktu Antar Kerusakan

Berdasarkan hasil perhitungan untuk parameter kopling nilai parameter $\beta > 1$ maka laju kerusakan meningkat seiring dengan tingkat pemakaiannya dan kurva berbentuk konkaf. sedangkan nilai parameter α menunjukkan semakin besar nilai α maka semakin rendah laju

kerusakan dan data semakin menyebar. Pada komponen kopling nilai parameter $\beta > 2$ sehingga laju kerusakan meningkat dan kurva berbentuk konveks. Nilai parameter bentuk (β) kedua komponen tersebut berada dalam wilayah *wear-out* pada kurva *bathup*, dimana wilayah tersebut laju kerusakan meningkat seiring bertambahnya waktu penggunaan dan menggambarkan kondisi mesin telah berakhir masa pakainya.

5.3 Analisis Metode yang Digunakan

Dalam metode *age replacement* penggantian pencegahan berdasarkan umur komponen sehingga setelah komponen tersebut diganti maka umur komponen tersebut kembali ke nol. Maka dari itu penjadwalan komponen tidak tetap melainkan sesuai dengan kilometer penggunaan mobil. Tujuan dari metode ini yaitu untuk mengetahui interval penggantian pencegahan optimal dengan meminimasi biaya penggantian per kilometer. Sehingga kilometer dengan biaya terkecil itulah waktu penggantian komponen yang optimal.

5.4 Analisis Biaya Perawatan Pencegahan dan Kerusakan Komponen

Biaya penggantian kerusakan lebih besar dibanding dengan biaya penggantian pencegahan. Hal ini dikarenakan biaya penggantian kerusakan lebih banyak menimbulkan kerugian yang membuat komponen lain rusak sehingga mengakibatkan mobil tidak dapat digunakan sesuai fungsinya saat dibutuhkan dan mengakibatkan kerugian pada masyarakat akibat api tidak dapat segera dipadamkan.

5.5 Analisis Perbandingan Interval Penggantian Pencegahan Optimal dengan Kondisi Saat Ini

Ekspektasi biaya penggantian pencegahan yang telah dihitung dibandingkan dengan biaya penggantian yang dimiliki damkar. Biaya kerusakan kondisi saat ini yaitu biaya pembelian harga komponen dan ekspektasi kerugian akibat kerusakan mobil pemadam kebakaran. Untuk ekspektasi kerugian akibat keterlambatan mobil dengan mengetahui lamanya mobil datang ke lokasi kejadian dikalikan dengan ekspektasi kerugian per jamnya. Berdasarkan hasil wawancara, lamanya mobil pemadam kebakaran datang ke lokasi kejadian sebesar 15 menit (0,25 jam), maka:

$$\begin{aligned} \text{Ekspektasi kerugian/kerusakan} &= \text{Rp } 2.088.549 / \text{jam} \times 0,25 \text{ jam} \\ &= \text{Rp } 522.137 \end{aligned}$$

Sehingga total penggantian kerusakan untuk komponen kopling sebesar Rp 3.017.137 dan untuk rem Rp 840.137. Berikut merupakan perhitungan kerusakan yang terjadi dengan biaya yang dihasilkannya, perhitungan kerusakan dapat dilihat pada Tabel 14.

Tabel 14. Perhitungan Rata-rata Kerusakan

Kopling	Interval km kerusakan (km)	Rem	Interval km kerusakan (km)
23/03/2013	257,425	16/04/2013	333,699
16/04/2013	76,274	18/06/2013	200,219
18/06/2013	200,219	29/07/2013	130,301
29/07/2013	130,301		
Rata-rata Kerusakan (km)	166		221

Untuk menghitung biaya penggantian komponen berdasarkan rata-rata kerusakan yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Kopling} &= \text{Total biaya penggantian kerusakan komponen} / \text{rata-rata kerusakan} \\ &= \text{Rp } 3.017.137 / 166 \text{ km} = \text{Rp } 18.176 / \text{km} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rem} &= \text{Total biaya penggantian kerusakan komponen} / \text{rata-rata kerusakan} \\ &= \text{Rp } 840.137 / 221 \text{ km} = \text{Rp } 3.802 / \text{km} \end{aligned}$$

Dalam satu tahun, kilometer tempuh mobil pancar sejauh 1160 km. Untuk itu dalam mencari biaya per tahun dengan mengalikan kilometer tempuh mobil dalam setahun dengan biaya per kilometernya. Tabel 15 menunjukkan rekapitulasi biaya kerusakan yang selama ini dikeluarkan damkar dengan tidak adanya pencegahan dan usulan yang telah dilakukan perhitungan.

Tabel 15. Rekapitulasi Perbandingan Biaya Kondisi Saat Ini dengan Usulan

	Kondisi Saat Ini		Usulan	
	Komponen Kopling	Rata-rata Kerusakan (km)	166	Interval Penggantian Pencegahan (km)
Biaya Kerusakan (Rp/km)		18.176	Ekpektasi Ongkos Penggantian Pencegahan (Rp/km)	13.743
Biaya Kerusakan (Rp/th)		21.083.609	Ekpektasi Ongkos Penggantian Pencegahan (Rp/th)	15.941.674
Komponen Rem	Rata-rata Kerusakan (km)	221	Interval Penggantian Pencegahan (km)	320
	Biaya Kerusakan (Rp/km)	3.802	Ekpektasi Ongkos Penggantian Pencegahan (Rp/km)	2.380
	Biaya Kerusakan (Rp/th)	4.409.770	Ekpektasi Ongkos Penggantian Pencegahan (Rp/th)	2.761.321

Biaya yang didapat dari hasil perhitungan (usulan) lebih kecil dibandingkan dengan biaya yang selama ini dikeluarkan damkar. Hal ini penggantian komponen tidak terlalu sering maupun terlalu lama sehingga menghemat biaya pembelian komponen dan biaya perawatan kerusakan. Kerusakan komponen yang mendadak juga mengakibatkan kerugian karena keterlambatan mobil pemadam kebakaran datang ke lokasi kejadian. Frekuensi penggantian komponen dapat dilihat dari beban kerja mobil pancar yang digunakan dan kondisi jalan menuju lokasi.

6. KESIMPULAN

1. Berdasarkan hasil perhitungan distribusi Weibull nilai parameter skala (α) untuk komponen kopling sebesar 193,541 dan parameter bentuk (β) sebesar 1,897, sedangkan untuk komponen rem nilai parameter skala (α) sebesar 256,757 dan parameter β sebesar 2,070. Nilai β untuk kedua komponen tersebut sama-sama memiliki laju kerusakan meningkat seiring dengan pemakaian komponen namun terdapat perbedaan dari bentuk kurva yang dihasilkan.
2. Hasil perhitungan ekspektasi biaya penggantian pencegahan optimal untuk komponen kopling yaitu pada titik 140 km dengan biaya Rp 13.743/km, sedangkan pada rem yaitu pada titik 320 km dengan ekspektasi biaya penggantian sebesar Rp 2.380/km.

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.