

# OPTIMISASI WAKTU PENGGANTIAN KOMPONEN PADA LOKOMOTIF DE CC 201 SERI 99 MENGUNAKAN METODA *AGE REPLACEMENT* DI PT. KERETA API INDONESIA\*

Juliandi Wirawan Krisnadi, Kusmaningrum Soemadi, Fifi Herni MUSTOFA

Jurusan Teknik Industri Institut Teknologi Nasional (ITENAS), Bandung

Email: juliandi.2013@gmail.com

## ABSTRAK

*PT.KAI merupakan perusahaan Transportasi Kereta api di Indonesia. Proses perawatan di bengkel Dipo adalah melakukan kegiatan perawatan pencegahan. Salah satu kegiatan utama yang dilakukan adalah penggantian pencegahan komponen. Tujuan penelitian ini ialah melakukan optimisasi penggantian komponen lokomotif DE CC 201 seri 99, menggunakan model age replacement. Terdapat 44 komponen yang sering mengalami kerusakan, kemudian menggunakan diagram pareto terpilih 23 komponen yang merupakan komponen kritis. Selanjutnya yang dipertimbangkan hanyalah komponen yang memiliki laju kerusakan meningkat terhadap waktu, dan berdasarkan laju kerusakan yang paling tinggi ditetapkan obyek penelitian yaitu roda tiga hingga roda enam, dan radiator. Solusi model menghasilkan penggantian roda optimal adalah 54 hari, dan penggantian radiator optimal adalah 23 hari.*

**Kata Kunci:** *Optimasi, Age Replacement, Komponen Kritis*

## ABSTRACT

*PT.KAI is a railway transport company in Indonesia. The maintenance process carried out in Dipo is preventive maintenance. One among activities is components preventive replacement. The purpose of this research is optimizing component replacement of a locomotive ie. DE CC 201 series 99, by using age replacement model. There are 44 frequently damaged components, and by using pareto diagram, 23 component is selected as critical components. In this study, we only consider components with increasing rate of failure over time. Based on the highest rate of failure, there are five components: four wheels and a radiator considered further in this research. Optimal solution of the model is to replace the wheel every 54 days, and to replace the radiator every 23 days.*

**Keyword:** *Optimization, Age Replacement, Critical Components*

---

\* 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

PT. Kereta api merupakan perusahaan yang bergerak dalam bidang transportasi kereta api. Dalam upaya untuk melayani kepentingan publik, maka perusahaan harus memperhatikan kualitas dan kelayakan sarana pelayanan transportasi kereta api. Salah satu sarana penting dalam penyelenggaraan transportasi kereta api ialah lokomotif, sebagai alat penggerak utama pada kereta api. Untuk meningkatkan keandalan lokomotif maka diperlukan penanganan perawatan yang baik agar tidak terjadi suatu kerusakan.

Berdasarkan pada sumber dari perusahaan yang berlokasi pada Dipo dalam melakukan penanganan perawatan lokomotif, di temui bahwa lokomotif DE CC 201 seri 99 memiliki tingkat frekuensi kerusakan yang sangat tinggi dengan rata-rata 38 kerusakan pada tiap tahunnya. Sering terjadinya kegiatan perawatan korektif dan pernah terjadinya kerusakan di saat lokomotif tengah beroperasi mengakibatkan terjadinya *downtime* yang tidak dikehendaki dan biaya perbaikan yang cukup tinggi.

### 1.2 Perumusan Masalah

cukup tinggi dibutuhkan tindakan perawatan pencegahan yang optimal. Salah satu upaya mengoptimalkan perawatan pencegahan adalah dengan menetapkan jadwal penggantian optimal terhadap komponen lokomotif untuk meminimumkan biaya *maintenance*.

Pada penelitian ini dilakukan proses penentuan jadwal perawatan yang optimal, yaitu menentukan interval waktu penggantian komponen kritis dengan memperhitungkan biaya penggantian. Penentuan interval waktu penggantian komponen dipilih hanya untuk sejumlah komponen kritis. Pemodelan yang di gunakan ialah *age replacement* (Ebeling, 1997)

### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah menentukan jadwal penggantian komponen lokomotif DE CC 201 seri 99 yang berlokasi di Dipo Bandung dengan model *age replacement* yang bertujuan meminimumkan total biaya perawatan dan penggantian.

### 1.4 Pembatasan masalah

Obyek yang diteliti adalah lokomotif DE CC 201 seri 99. Data penelitian yang digunakan adalah data periode Februari 2007 hingga Maret 2012. Diasumsikan kerusakan dan berbagai harga komponen lokomotif tidak berubah selama periode penelitian.

## 2. STUDI LITERATUR

### 2.1. Reliability (keandalan)

*Reliability* (Keandalan) dalam istilah sehari-hari adalah kemampuan atau tingkat berfungsinya suatu alat atau komponen. Suatu alat dikatakan andal jika alat tersebut dapat berfungsi dengan baik. Dan dapat dikatakan tidak andal jika alat tersebut tidak dapat berfungsi sebagaimana mestinya. Nilai keandalan berkisar antara 0 dan 1, karena merupakan fungsi probabilitas. Fungsi keandalan dapat dinotasikan  $R(t) = P(t)$

Secara sistematis fungsi keandalan dapat dinyatakan sebagai berikut: (Ebeling, 1997)

$$R(t) = P(x \geq t), t > 0 = 1 - P(x \leq t) = 1 - F(t) \quad (1)$$

Bila laju kerusakan sistem sebagai variabel random memiliki fungsi kepadatan atau probability density function (pdf), maka fungsi keandalan menjadi:

$$R(t) = 1 - \int_0^t f(t)dt = \int_t^{\infty} f(t)dt \quad (2)$$

## 2.2 Mean Time To Failure

*Mean time to failure* (MTTF) adalah rata-rata waktu ekspektasi terjadinya kerusakan dari unit-unit identik yang beroperasi pada kondisi normal. MTTF seringkali digunakan untuk menyatakan angka ekspektasi  $E(t)$ , dan dapat dinyatakan dengan (Ebeling, 1997)

$$E(t) = \int_{-\infty}^{\infty} t \cdot f(t) dt \quad (3)$$

Dengan integral parsial  $\int_0^{\infty} u dv = uv - \int_0^{\infty} v du$  (4)

Maka persamaan diatas menjadi

$$MTTF = E(t) = \int_0^{\infty} /R(t) dt \quad (5)$$

## 2.3. Distribusi Weibull

Distribusi *weibull* adalah distribusi empirik yang pemakaiannya paling luas meliputi sejumlah besar karakteristik kerusakan mesin atau peralatan. Distribusi ini ekivalen dengan distribusi lainnya tergantung pada parameter bentuk ( $\beta$ ). Jika  $\beta = 1$  maka distribusi *weibull* ekivalen dengan distribusi eksponensial negatif, jika  $\beta > 1$  maka distribusi *weibull* menandakan laju kerusakan meningkat, sedangkan jika  $\beta < 1$  maka distribusi *weibull* mendekati distribusi hiper eksponensial, dan jika  $3 < \beta < 4$ , maka distribusi *weibull* mendekati distribusi normal. Fungsi laju kerusakan distribusi *weibull* adalah: (Ebeling, 1997).

$$f(t) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta-1} \cdot \exp\left(-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta}\right) \quad (6)$$

Fungsi kerusakan kumulatif

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

Fungsi keandalan

$$R(t) = \exp\left(-\frac{t^{\beta}}{\alpha}\right) \quad (8)$$

Rataan

$$\mu = \alpha \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (9)$$

dimana  $\Gamma = \int_0^{\infty} t^{x-1} e^{-t} dt$  (10)

Variansi

$$\sigma^2 = \alpha^2 \left[ \Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \right] \quad (11)$$

## 2.4. Tindakan Penggantian (*Replacement*)

Berdasarkan waktu pelaksanaannya, tindakan pencegahan dapat dibagi menjadi dua jenis:

1. *Block replacement*. Jika pada selang waktu  $t_p$  tidak terdapat kerusakan maka tindakan penggantian dilakukan pada suatu interval  $t_p$  yang tetap. Jika sistem rusak sebelum jangka waktu  $t_p$ , maka dilakukan penggantian kerusakan dan penggantian selanjutnya akan tetap dilakukan pada saat  $t_p$  dengan mengabaikan penggantian perbaikan sebelumnya.
2. *Age replacement*. Dalam metode ini, tindakan penggantian dilakukan pada saat pengoperasiannya sudah mencapai umur yang ditetapkan, yaitu sebesar  $t_p$ . Jika pada selang waktu  $t_p$  tidak terdapat kerusakan maka dilakukan penggantian sebagai tindakan korektif. Perhitungan umur tindakan penggantian  $t_p$  dimulai dari awal lagi dengan mengambil acuan dari waktu bekerjanya sistem kembali setelah dilakukan tindakan perawatan korektif tersebut. Nilai tengah distribusi kerusakan sebagai berikut.

$$M(t_p) = \frac{\int_0^{\infty} t f(t) dt}{1 - R(t_p)} \quad (12)$$

Total *downtime* per satu siklus ( $C(t_p)$ ) sebagai berikut.

$$C(t_p) = \frac{C_p \cdot R(t_p) + C_f(1 - R(t_p))}{(t_p + T_p) \cdot R(t_p) + \int_0^{t_p} t \cdot f(t) dt + t_f(1 - R(t_p))} \quad (13)$$

Dimana :  $C_p$  = biaya *preventive*

$C_f$  = biaya failure

$t_p$  = interval waktu *preventive*

$t_f$  = merupakan nilai MTTF

$R$  = merupakan nilai *reliability* saat  $R(t_p)$

### 3. Metodologi Penelitian

Secara garis besar, berdasarkan diagram alir metode penelitian. Rangkaian metode yang diterapkan pada pelaksanaan penelitian ini adalah:

#### 3.1 Identifikasi Masalah

Pada tahap ini dilakukan identifikasi masalah yang terjadi, hingga dijadikan tujuan untuk dijadikan penelitian. Pada kasus penelitian ini terjadi proses perawatan penggantian yang masih belum optimal, hal ini dikarenakan mesin yang sering mengalami downtime dan jadwal penggantian yang belum optimal. Berdasarkan dari permasalahan yang terjadi, maka dilakukan proses optimasi biaya dengan melakukan model matematis berupa *age replacement*.

#### 3.2 Studi Literatur

Tahap ini merupakan pembahasan terhadap rumusan teoritis dari literatur-literatur yang berhubungan dengan perawatan dan model matematis.

#### 3.3 Pemilihan model matematis

Berdasarkan kondisi perawatan serta kondisi laju kerusakan komponen tersebut. Berdasarkan model penggantian pencegahan optimal tiap komponen didapatkan interval penggantian pencegahan yang optimal masing-masing komponen sehingga dapat dilakukan penjadwalan penggantian pencegahan yang optimal berdasarkan model matematis *age replacement* serta dengan kriteria minimal ongkos yang berdasarkan atas studi literatur Ebeling (1997).

#### 3.4 Pengumpulan Data

##### 3.4.1 Pemilihan Komponen Kritis

Melakukan pemilihan komponen kritis, yaitu dengan cara melakukan pengurutan komponen dengan kerusakan terbesar. Salah satu caranya ialah dengan melakukan diagram Pareto dan dilakukan pengujian parameter untuk mengetahui sifat kerusakan komponen.

##### 3.4.2 Durasi Perawatan Pencegahan Dan Durasi Penggantian Komponen

Mengumpulkan durasi waktu pencegahan dan waktu pergantian komponen yang merupakan susunan dari beberapa elemen pergerakan dalam melakukan perbaikan pada lokomotif data waktu seperti elemen waktu pergantian komponen serta elemen waktu perawatan komponen.

##### 3.4.3 Selang Kerusakan Komponen

waktu kerusakan merupakan waktu saat komponen terjadinya kerusakan saat beroperasi ataupun saat inspeksi. Pada waktu kerusakan komponen, bila terjadi berulang-ulang akan menciptakan suatu perioda komponen.

#### **3.4.4 Data Biaya Preventive Dan Corrective Maintenance**

Mengumpulkan data biaya *preventive* dan *corrective maintenance* dengan berdasarkan ketentuan.

- a. Biaya pengerjaan
- b. Biaya pembelian komponen
- c. Biaya kebutuhan mesin/komponen
- d. Biaya masinis
- e. Pendapatan yang hilang

### **3.5 Pengolahan Data**

#### **3.5.1 Pengujian Parameter Distribusi Weibull**

Pada penelitian dilakukan pengujian parameter distribusi weibull, dengan distribusi tersebut maka sifat kerusakan suatu komponen dapat ditentukan. Berdasarkan nilai parameter  $\beta$ , apabila nilai  $\beta$  semakin besar maka sifat kerusakan komponen semakin besar pula. persamaan perhitungan dapat dilihat pada persamaan (6) hingga (10).

#### **3.5.2 Penentuan keandalan mesin dan MTTF (*mean time to failure*)**

Keandalan mesin menunjukkan bagaimana ukuran suatu komponen untuk beroperasi dengan baik, semakin besar nilai keandalan berarti kondisi mesin semakin baik. MTTF menunjukkan rentang waktu terjadi kerusakan. Nilai tersebut menunjukkan kapan tepatnya kerusakan komponen akan terjadi. Pada persamaan keandalan dapat dilihat pada persamaan (2), sedangkan keandalan pada persamaan (5).

#### **3.5.3 Penentuan Waktu dan Biaya Penggantian Komponen**

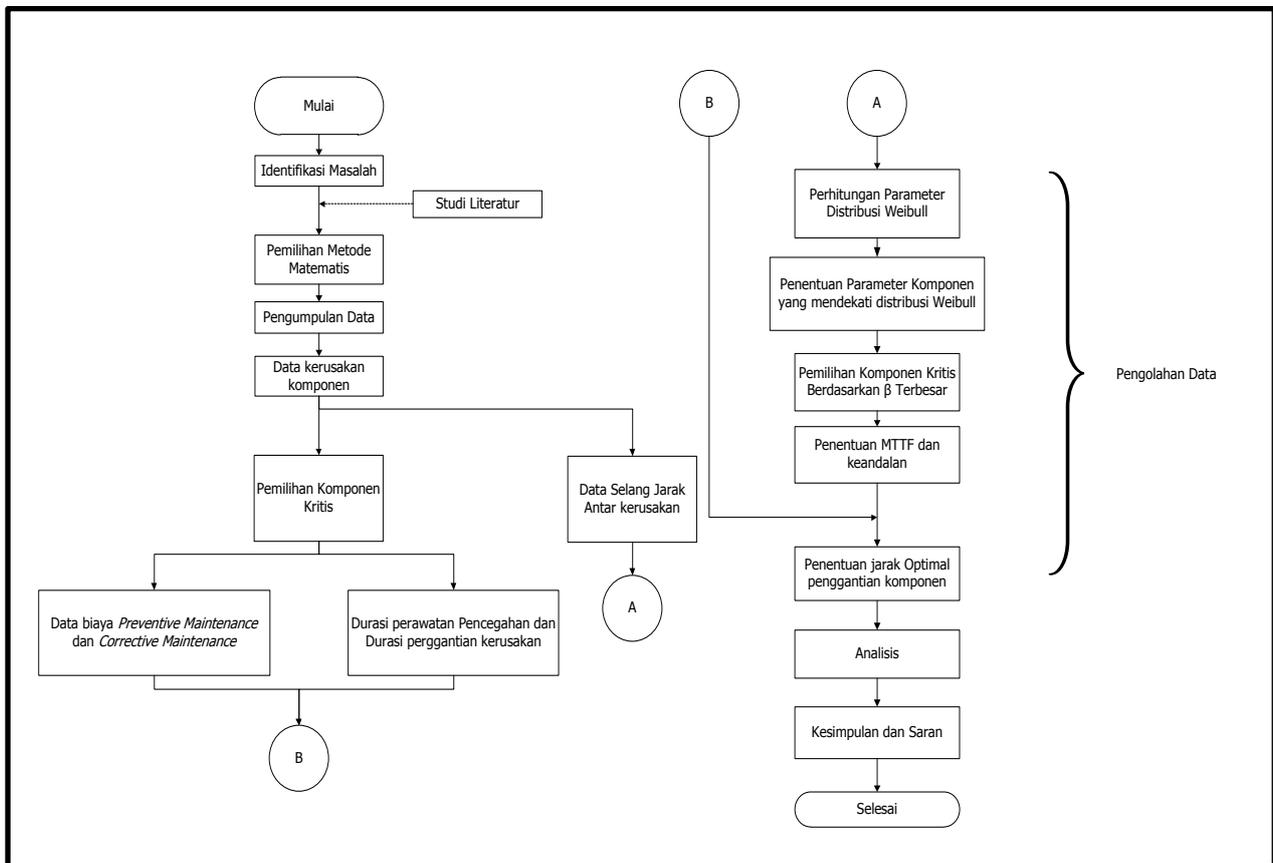
Waktu penggantian komponen yang optimal dilihat dari total biaya yang minimum, selang waktu/jarak yang digunakan berdasarkan pada MTTF (*mean time to failure*) yang diperoleh dari langkah sebelumnya lalu nilai untuk menentukan biaya dan waktu optimal dilakukan persamaan (13), yang berdasarkan pada model *age replacement*.

### **3.6 Analisis Masalah**

Analisis yang dilakukan pada penelitian ini adalah menganalisis jadwal penggantian existing dengan hasil penelitian serta menganalisa biaya hasil optimasi penggantian dengan biaya sebelum dilakukan optimasi.

### **3.7 Kesimpulan dan Saran**

Pada tahap ini mengambil kesimpulan penelitian yang didapatkan dari analisis yang dilakukan dan saran usulan perbaikan yang diberikan kepada PT.KAI.



Gambar 1. Diagram Alir Metodologi Penelitian

#### 4. PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

##### 4.1 Pemilihan Komponen Kritis

Untuk mengetahui pemilihan komponen yang kritis dilakukan pengurutan komponen yang memiliki kerusakan terbesar dengan diagram pareto dari 44 komponen didapatkan 23 komponen yang memiliki kerusakan terbesar. Untuk mengetahui sifat komponen yang memiliki kerusakan terbesar maka digunakan distribusi Weibull dua parameter, yaitu dengan menghitung nilai parameter  $\alpha$  dan  $\beta$ . Nilai Parameter perhitungan parameter pada distribusi Weibull pada tiap interval waktu kerusakan pada tiap komponen. Setelah dilakukan perhitungan didapatkan bahwa komponen yang menunjukkan kerusakan yang terus meningkat ialah radiator dan roda 3-6 dengan berdasarkan nilai  $\beta$  yang paling besar diantara komponen lainnya seperti pada tabel berikut:

Tabel 1 Rekapitulasi parameter  $\beta$  distribusi Weibull pada komponen lokomotif CC 201 seri 99

Komponen	Parameter	
	$\beta$	$\alpha$
Roda 3 s/d 6	2.44349	97240.3315
Radiator	2.0144	57717.5072

#### 4.2 Data Ongkos *Maintenance*

Untuk Pengumpulan data ongkos penggantian komponen lokomotif dibedakan menjadi ongkos penggantian pencegahan/perawatan (*preventive maintenance*) komponen dan ongkos penggantian kerusakan (*corrective maintenance*).

Ongkos *preventive maintenance* komponen roda 3-6 dan radiator meliputi:

**Tabel 2 Ongkos *preventive maintenance* komponen roda**

No.	Keterangan	Biaya
1	Biaya komponen pengganti	Rp 11,684,400.00
2	Ongkos operator	Rp 153,710.33
3	Pendapatan yang hilang	-
4	Ongkos bahan bakar	-
5	Ongkos pelumas	Rp 3,496,152.00
6	Ongkos air pendingin	-
7	Gaji masinis	-
Total Ongkos		Rp 15,334,262.33

**Tabel 3 Biaya *preventive maintenance* komponen Radiator**

No.	Keterangan	Biaya
1	Biaya komponen pengganti	Rp 8,946,600.00
2	Ongkos operator	Rp 105,803.60
3	Pendapatan yang hilang	-
4	Ongkos bahan bakar	-
5	Ongkos pelumas	Rp 3,078,000.00
6	Ongkos air pendingin	-
7	Gaji masinis	-
Total Ongkos		Rp 12,130,403.60

Kerusakan pada kasus penggantian sub komponen (*corrective replacement*) terjadi pada saat lokomotif sedang berada di perjalanan. Sehingga selain biaya komponen dan ongkos operator serta terdapat juga biaya pelumas, gaji masinis, pendapatan yang hilang dan biaya air pendingin. Maka biaya penggantian kerusakan roda ialah sebagai berikut.

**Tabel 4. Ongkos *Corrective Maintenance* Komponen Roda**

No.	Keterangan	Biaya
1	Biaya komponen pengganti	Rp 11,684,400.00
2	Ongkos operator	Rp 224,920.00
3	Pendapatan yang hilang	Rp 117,600,000.00
4	Ongkos bahan bakar	Rp 15,570,000.00
5	Ongkos pelumas	Rp 3,496,152.00
6	Ongkos air pendingin	Rp 3,078,000.00
7	Gaji masinis	Rp 200,000.00
Total Ongkos		Rp 151,853,472.00

**Tabel 5 Ongkos *Corrective Maintenance* Komponen Radiator**

No.	Keterangan	Biaya
1	Biaya komponen pengganti	Rp 8,946,600.00
2	Ongkos operator	Rp 127,073.77
3	Pendapatan yang hilang	Rp 117,600,000.00
4	Ongkos bahan bakar	Rp 15,570,000.00
5	Ongkos pelumas	Rp 3,496,152.00
6	Ongkos air pendingin	Rp 3,078,000.00
7	Gaji masinis	Rp 200,000.00
Total Ongkos		Rp 149,017,825.77

### 4.3 Keandalan

Setelah nilai parameter dari fungsi distribusi Weibull dua parameter sudah diketahui, sehingga dilakukan proses penghitungan keandalan untuk mengetahui tingkat keandalan suatu komponen, apakah lebih baik atau semakin turun pada tiap periode jaraknya sedangkan pada *mean time to failure* (MTTF) dilakukan proses rata-rata umur komponen yang perioda jarak/waktu terjadinya kerusakan.

Rata-rata umur komponen lokomotif pada sub komponen roda dan radiator *Mean Time To Failure* (MTTF) pada persamaan (5) adalah:

1. Untuk komponen roda

$$MTTF = 97240,331525378\Gamma \left[ 1 + \frac{1}{2,44349022225743} \right]$$

$$= 86277,45655 \text{ Km}$$

2. Untuk komponen radiator

$$MTTF = 57717,5071895213 \Gamma \left[ 1 + \frac{1}{2,0144035010824} \right]$$

$$= 57390,24892 \text{ Km}$$

### 4.4 Model *Age Replacement*

Berdasarkan pertimbangan waktu dan ongkos dalam melakukan pemilihan model matematis, maka dipilih *age replacement*. Pemilihan *age replacement* pada penelitian ini disebabkan harga radiator dan roda yang mahal sehingga dalam melakukan tidak bisa sesering mungkin. Penggunaan model *age replacement* ini dilakukan hanya jika komponen telah mencapai umur tertentu. Penentuan interval penggantian pencegahan dengan kriteria minimasi *downtime* berdasarkan ongkos *maintenance* dihitung berdasarkan persamaan dari persamaan (13) Sedangkan *mean time to failure* ialah

$$\int_0^{t_p} t \cdot f(t) dt \tag{14}$$

Di bawah ini merupakan tabel rekapitulasi jarak yang optimal dengan mempertimbangkan ongkos yang minimum pada komponen yang diteliti berdasarkan model *age replacement*.

**Tabel 6 Rekapitulasi jarak Optimal Komponen dengan Model *Age Replacement***

No	Komponen	Jarak Penggantian Optimal (km)
1	Roda 3 s/d 6	31650
2	Radiator	15650

Hasil perhitungan didapatkan bahwa jarak yang paling optimal pada komponen roda 3-6 untuk dilakukan perawatan ialah pada jarak 37005 km. Sedangkan hasil perhitungan pada komponen radiator didapatkan bahwa jarak yang paling optimal pada komponen tersebut dilakukan pergantian ialah pada jarak 18998 km.

## 5. ANALISIS

### 5.1 Analisis Model

Model yang dilakukan pada penelitian ini ialah age replacement. Pada model ini penggantian dilakukan pada umur pakai dari komponen. Tujuan dari model ini menentukan umur optimal dimana penggantian pencegahan harus dilakukan sehingga dapat meminimasi *total downtime*.

Pada nilai perhitungan kehandalan pada komponen/mesin dapat diketahui kondisi komponen. Berdasarkan pada data penelitian didapatkan komponen yang probabilitasnya menurun, sehingga tingkat kehandalan pada komponen tersebut menjadi menurun.

### 5.2 Analisis Kondisi Perawatan Saat ini

Berdasarkan dari diagram pareto didapatkan komponen roda 1-2 yang paling sering mengalami kerusakan, namun setelah dilakukan pengujian distribusi weibull didapatkan komponen yang memiliki sifat kerusakan yang terus meningkat ialah roda 3 s/d 6, dan radiator.

**Tabel 7 Rekapitulasi Distribusi Weibull pada komponen Roda 3 s/d 6 dan Radiator**

Komponen	Parameter	
	$\beta$	$\alpha$
Roda 3 s/d 6	2.44349	97240.33153
Radiator	2.0144	57717.50719

Untuk mengetahui rata-rata selang kerusakan pada komponen lokomotif saat ini maka di gunakan perhitungan MTTF, Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan bahwa waktu pergantian komponen saat ini ialah.

**Tabel 8 Waktu pergantian komponen saat ini**

Komponen	Km	Hari
Roda 3-6	86277.45655	125
Radiator	57390.24892	83

### 5.3 Analisis Kebijakan Yang di usulkan

Berdasarkan hasil perhitungan *age replacement* yang telah dikonversikan menjadi hari didapatkan hasil sebagai berikut.

**Tabel 9 Waktu optimal penggantian komponen yang di usulkan**

No	Komponen	Jarak Penggantian Optimal (km)	Hari
1	Roda 3 s/d 6	31650	46
2	Radiator	15650	28

Contoh perhitungan konversi:

Konversi hari = jarak penggantian optimal / ( jarak perjalanan x total operasi perjalanan pada tiap hari)

$$= 31650 \text{ km} / (173 \text{ km} \times 4) = 45.736 \text{ hari, dibulatkan menjadi 46 hari.}$$

Berdasarkan perbandingan Tabel penggantian komponen saat ini dan Tabel waktu optimal pergantian yang diusulkan pada roda lebih kecil dibandingkan dengan waktu pergantian saat ini hal tersebut untuk memperkecil jarak antara kerusakan dengan waktu pergantian.

#### 5.4 Usulan Kebijakan Penghematan

Untuk mengetahui perbandingan penghematan dalam melakukan proses model age replacement maka dilakukan perumusan sebagai berikut.

$$C_{(t)} = \frac{\text{biaya ekspektasi pada penggantian}_{(t)}}{(t)} \quad (15)$$

1. Biaya total penggantian yang dikeluarkan Dipo dengan menggunakan model sebelum di lakukan usulan

$$TC_{\text{roda-3-6}}(46) = \frac{2130.69}{153} = Rp. 17.04552002 / \text{hari}$$

$$TC_{\text{radiator}}(23) = \frac{4592.376}{83} = Rp. 72.89485271 / \text{hari}$$

2. Biaya total penggantian pada interval tp dengan menggunakan model *Age replacement*.

$$TC_{\text{roda-3-6}}(46) = \frac{803.535}{46} = Rp. 17.46815171 / \text{hari}$$

$$TC_{\text{radiator}}(23) = \frac{1.487.224}{23} = Rp. 64.66192571 / \text{hari}$$

Untuk menentukan jumlah persentase penghematan yang dilakukan dengan model matematis *age replacement*, maka dilakukan perumusan sebagai berikut.

$$\text{Persentase penghematan} = \frac{TC_{(tf)} - TC_{(tp)}}{TC_{(tf)}} \quad (16)$$

Dimana *tf* adalah biaya *corrective* dan *tp* adalah biaya *preventive*

$$\text{Persentase penghematan Radiator} = \frac{(Rp.72.89485271 - Rp.64.66192571)}{Rp.72.89485271} \times 100\% = 11.29\%$$

Berdasarkan Biaya total penggantian yang dilakukan pada komponen roda 3 hingga 6, pada biaya model sebelum dilakukan usulan biaya penggantian lebih kecil dibandingkan dengan model sebelum diusulkan yaitu Rp 17.04552002/hari terhadap model yang diusulkan sebesar Rp72.89485271/hari sehingga menunjukkan bahwa kebijakan penggantian pada yang dilakukan pada perusahaan telah melakukan proses interval penggantian yang lebih baik dalam mengoptimalkan biaya dibandingkan mengoptimalkan biaya dengan menggunakan model yang diusulkan. Pada presentase komponen radiator menunjukkan dengan melakukan model usulan, didapatkan penghematan yang dapat dilakukan sebesar 11,29%.

## 6. KESIMPULAN DAN SARAN

### 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan 44 sub komponen yang sering mengalami kerusakan terdapat 2 sub komponen yang sifat memiliki laju kerusakan yang selalu meningkat, yaitu radiator dan komponen roda 3 hingga 6. Berdasarkan perhitungan optimasi penggantian komponen didapatkan bahwa waktu penggantian pada komponen lebih pendek dibandingkan sebelum dilakukan

perhitungan optimasi yaitu roda 3-6 sebesar 46 hari dan radiator sebesar 28 hari setelah dilakukan perhitungan. Sehingga kondisi komponen akan selalu dalam performa yang baik dan belum aus sebelum terjadinya kerusakan. Penggantian komponen *preventive* menghasilkan biaya perawatan yang lebih rendah daripada perawatan *corrective*. Estimasi penghematan biaya berdasarkan dari model matematis *age replacement* mengalami pengeluaran biaya sebesar Rp.17.46815171/hari dan radiator sebesar Rp.64.66192571/hari. Berdasarkan dari Total biaya penghematan didapatkan bahwa kebijakan dari perusahaan lebih baik dalam melakukan penggantian roda 3-6 dengan melakukan model kebijakan penggantian komponen dibandingkan dengan model yang diusulkan. Sedangkan pada radiator model yang diusulkan lebih baik dalam melakukan pengoptimalannya hal tersebut dapat dilihat dengan selisih persentase biaya penghematan sebesar 11.29%. walaupun pada roda 3-6 kebijakan perusahaan lebih baik, namun dalam penanganannya karena roda 3-6 memiliki sifat kerusakan yang terus naik maka perusahaan harus tetap memperhatikan laju kerusakan pada komponen tersebut.

## 6.2 Saran

Agar dibuat koordinasi yang lebih baik lagi antara bagian pengoperasian serta bagian *maintenance*. Koordinasi yang baik dapat memberikan perencanaan yang lebih baik mengenai waktu penggantian komponen sehingga waktu penggantian direncanakan dengan mempertimbangkan waktu penggantian komponen optimal serta jadwal operasi lokomotif. Analisis penggantian komponen dengan perawatan pencegahan yang telah diuraikan sebelumnya, dapat diterapkan untuk komponen mesin lainnya. Untuk itu penanganan yang baik dan sistematis pada setiap terjadinya kerusakan komponen yang akan dianalisis. Menjamin kesiapan operasional dari seluruh peralatan untuk komponen pengganti harus tersedia setiap saat.

## REFERENSI

- Ebeling, Charles. E. 1997. *Reability and Maintability Engineering*. McGraw-Hill International Edition. London.
- Govil, A.K., 1983, *Reability Engineering*, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi.
- Hartono AS, MM, 2004, *Lokomotif Kereta Rel Diesel di Indonesia*, APKA, Bandung
- Hartono, Gunawarman. 2003. Analisis Penerapan *Total Preventive Maintenance* Untuk Meningkatkan *Availability* dan *Reliability* Pada Mesin Injeksi Melalui Minimisasi *Downtime*. Jakarta:Universitas Binus
- Jardine, A.K.S., 1987. *Maintenance, Replacement and Reliability*, New York: Pitman Publishing.
- Knezevic, Jezdimir, 1993. *Reliability, Maintenance and Supportability: A Probabilistic, Approach*. London: McGraw-Hill Book Company.
- Montgomery, Douglas C. 1997. *Design and Analysis of Experiment*, John Wiley & son. 4th edition. USA.