

**PERENCANAAN *PREVENTIVE MAINTENANCE* KOMPONEN *CANE CUTTER* I
DENGAN PENDEKATAN *AGE REPLACEMENT*
(Studi Kasus di PG Kebon Agung Malang)**

**PREVENTIVE MAINTENANCE IMPLEMENTATION OF *CANE CUTTER* I
COMPONENT USING *AGE REPLACEMENT* METHOD
(Case Study at PG Kebon Agung Malang)**

Shabrina Dyah Mutiara¹⁾, Arif Rahman²⁾, Ihwan Hamdala³⁾
Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik-Universitas Brawijaya
Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia
Email: shabrinadyahm.lesai@gmail.com¹⁾, posku@ub.ac.id²⁾, ihwan.h@ub.ac.id³⁾

Abstrak

Sistem *maintenance* yang baik diperlukan PG Kebon Agung yang mengolah bahan baku tebu menjadi produk gula pasir. Dalam sistem *maintenance*-nya, PG Kebon Agung melaksanakan penggantian komponen dengan menerapkan *corrective maintenance*. Data historis kerusakan belum digunakan sebagai acuan untuk merencanakan *preventive maintenance*. Salah satu fasilitas produksi yang sangat penting adalah mesin *cane cutter* I yang memegang fungsi utama dalam *size reduction* tebu. Kerusakan pada komponen pisau di mesin *cane cutter* I mempunyai tingkat *severity* yang paling tinggi. Metode yang digunakan adalah *age replacement* karena penggantian komponen dilakukan saat komponen mencapai umur maksimal. Data historis kerusakan komponen *cane cutter* I digunakan untuk menghitung *Time to Failure* (TTF) dan *Time to Repair* (TTR). Data TTF dan TTR komponen *cane cutter* berdistribusi lognormal dengan MTTF sebesar 500,898 jam dan MTTR sebesar 1,065 jam. Interval waktu penggantian optimal setiap 369 jam. *Preventive maintenance* akan mengurangi downtime sebesar 2,403 jam setiap musim giling, meningkatkan tingkat *availability* sebesar 0,055% dan meningkatkan tingkat *reliability* sebesar 66%. Namun biaya *maintenance* juga meningkat dari sebelumnya sebesar Rp. 90.587.729 menjadi Rp. 104.969.103. Penurunan *downtime* dan perawatan rutin akan menunjang kelancaran proses produksi sehingga meningkatkan kapasitas produksi dan keuntungan perusahaan. Keuntungan tersebut dapat digunakan untuk menutupi penambahan biaya *maintenance*.

Kata kunci: *preventive maintenance, age replacement, downtime, availability, reliability*

1. Pendahuluan

Persaingan yang ketat antara perusahaan menyebabkan tiap perusahaan harus dapat menjaga dan meningkatkan proses produksi yang efektif dan efisien, memanfaatkan setiap sumber daya yang ada dengan semaksimal mungkin, dan menjaga setiap fasilitas yang dimilikinya agar dapat beroperasi dengan sebaik-baiknya (Abbas dkk, 2009). Oleh karena itu, mesin-mesin produksi yang dimiliki oleh perusahaan memerlukan *maintenance* yang baik agar mesin tidak mudah mengalami kerusakan. Kerusakan mesin akibat rusaknya komponen tidak dapat diketahui dengan pasti karena tiap komponen mesin memiliki keandalan dan laju kerusakan yang juga berbeda. Kondisi ini menyebabkan perlunya kebijakan *maintenance* yang baik pada saat dibutuhkan dan salah satu bentuk aktivitas *maintenance* adalah

penggantian komponen yang mengalami kerusakan (Pawesti, 2005).

Menurut Assauri (1999), *maintenance* merupakan kegiatan memelihara atau menjaga fasilitas atau peralatan pabrik dengan mengadakan perbaikan atau penyesuaian/penggantian yang diperlukan supaya terdapat suatu keadaan operasional produksi yang memuaskan sesuai dengan apa yang direncanakan. *Maintenance* terhadap komponen-komponen dan mesin yang digunakan dalam proses produksi dapat dilakukan, salah satunya dengan metode *preventive maintenance*. Menurut Ebeling (1997), *preventive maintenance* adalah pemeliharaan yang dilakukan secara terjadwal. Umumnya secara periodik, dimana sejumlah kegiatan seperti inspeksi dan perbaikan, penggantian, pembersihan, pelumasan, penyesuaian, dan penyamaan dilakukan.

Apabila *preventive maintenance* diterapkan, maka perusahaan dapat membuat jadwal perawatan secara rutin terhadap mesin dan komponen penunjang proses produksi. Dengan adanya penjadwalan rutin *maintenance* komponen mesin, maka *availability* komponen mesin dapat diestimasi. Ketika mengetahui hal tersebut, maka proses produksi dapat direncanakan sesuai dengan *availability* mesin.

Kondisi sistem *maintenance* pada PG. Kebon Agung adalah suatu komponen diganti ketika komponen telah mengalami kerusakan karena belum ada jadwal penggantian komponen secara periodik dan data historis yang ada belum dijadikan acuan untuk melakukan *preventive maintenance*. Komponen pisau *cane cutter* mempunyai tingkat keparahan/*severity* yang paling tinggi dibandingkan komponen lain di mesin *cane cutter* I. Permasalahan yang terjadi adalah sering terjadinya kerusakan pada komponen *cane cutter* yang menyebabkan komponen harus diganti. Hal tersebut menyebabkan patahan *cane cutter* menghantam *casing* mesin *cane cutter* I dan *cane cutter* di mesin *Cane Cutter* II yang dapat membuat *cane cutter* bengkok atau patah.

Secara umum terdapat dua model penggantian yaitu *block replacement* dan *age replacement* (Jardine,1997). *Block replacement* adalah model penggantian pencegahan ini dilakukan pada suatu interval yang tetap sedangkan *age replacement* adalah model penggantian pencegahan yang dilakukan tergantung pada umur pakai dari komponen. Berdasarkan permasalahan diatas, penelitian ini dapat memberikan gambaran perencanaan *preventive maintenance* komponen *cane cutter* yang optimal dengan tujuan meminimasi *downtime*.

2. Metode Penelitian

2.1 Pengumpulan Data

Data primer dan sekunder yang digunakan sebagai input dalam penelitian ini meliputi:

- Data detail komponen *cane cutter* I.
- Data frekuensi waktu kerusakan komponen.
- Data *downtime* komponen.
- Data biaya perawatan yang meliputi biaya tenaga kerja, biaya penggantian komponen, biaya kehilangan kesempatan produksi, dll.

2.2 Pengolahan Data

Tahapan pengolahan data dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

- Perhitungan *Time to Failure* (TTF) dan *Time to Repair* (TTR)
Perhitungan TTF dilakukan dengan menghitung selisih waktu ketika kerusakan pertama selesai diperbaiki dengan waktu kerusakan berikutnya dan perhitungan TTR dilakukan dengan menghitung lamanya proses perbaikan, yaitu selisih waktu kerusakan selesai diperbaiki dengan waktu kerusakan.
- Pendugaan distribusi suatu kegagalan.
Pendugaan distribusi suatu probabilitas kerusakan mesin atau peralatan dapat diketahui dengan menggunakan distribusi statistik. Pendugaan distribusi statistik tergantung dari karakteristik data kerusakan dan perbaikan yang terjadi.
- Perhitungan parameter
Perhitungan parameter ini berdasarkan distribusi yang digunakan. Parameter-parameter ini akan digunakan pada perhitungan dalam pengujian *goodness of fit*, perhitungan MTTF dan MTTR.
- Pengujian *Goodness of Fit*.
Pengujian ini bertujuan untuk memastikan apakah data sesuai dengan distribusi yang didapat. Pengujian *goodness of fit* dapat dilakukan secara manual maupun dengan bantuan *software*.
- Perhitungan *Mean Time to Failure* (MTTF) dan *Mean Time to Repair* (MTTR)
MTTF menunjukkan waktu rata-rata terjadinya kerusakan (komponen selesai diperbaiki sampai komponen rusak kembali) sedangkan MTTR menunjukkan waktu rata-rata yang diperlukan untuk melakukan perbaikan. Perhitungan MTTF dan MTTR dilakukan dengan menggunakan parameter yang ditentukan sebelumnya.
- Perhitungan jadwal penggantian komponen.
Penentuan jadwal penggantian komponen bertujuan untuk mengetahui waktu yang optimal dilakukannya *preventive maintenance*. Penentuan jadwal penggantian komponen berdasarkan *downtime* minimal.
- Perhitungan *downtime*
Perhitungan total *downtime* kondisi saat ini dan kondisi jika diterapkan usulan

preventive maintenance bertujuan untuk mengetahui peningkatan atau penurunan total *downtime* yang terjadi jika diterapkan usulan *preventive maintenance*.

- h. Perhitungan *availability* dan *reliability*
Availability menunjukkan prosentase waktu suatu komponen dapat beroperasi pada interval waktu tertentu. *Reliability* mesin menunjukkan bagaimana ukuran suatu komponen untuk beroperasi dengan baik, semakin besar nilai keandalan berarti kondisi mesin semakin baik. Perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui peningkatan atau penurunan *downtime*, *availability* dan *reliability* antara kondisi saat ini dengan kondisi jika diterapkan usulan *preventive maintenance*.
- i. Perhitungan estimasi biaya pada kondisi saat ini dengan kondisi jika diterapkan usulan *preventive maintenance*.
 Perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui besarnya biaya *maintenance* yang selama ini dilakukan dengan kondisi jika diterapkan usulan *preventive maintenance*. Perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui peningkatan atau penurunan biaya kondisi jika diterapkan usulan *preventive maintenance*.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Perhitungan *Time to Failure* (TTF) dan *Time to Repair* (TTR)

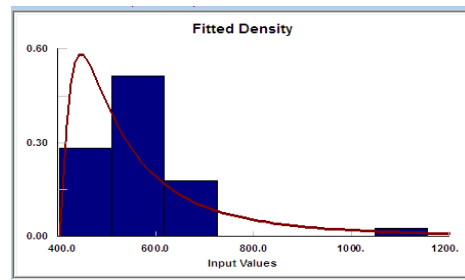
Berdasarkan data mesin *cane cutter* yang diperoleh dari PG Kebon Agung, maka dapat ditunjukkan frekuensi *downtime* terbesar pada mesin ini adalah pada komponen *cane cutter* sebesar 44 selama 5 musim giling. Mesin *cane cutter* I beroperasi selama 24 jam sehari dengan 7 hari kerja selama seminggu.

Time to Failure (TTF) merupakan interval waktu antar kerusakan yang dihitung dari selisih antara waktu saat komponen/mesin yang telah selesai diperbaiki dengan waktu kerusakan komponen/mesin berikutnya. Sedangkan *Time to Repair* (TTR) merupakan waktu yang diperlukan untuk melakukan perbaikan agar mesin tersebut dapat beroperasi kembali dengan baik.

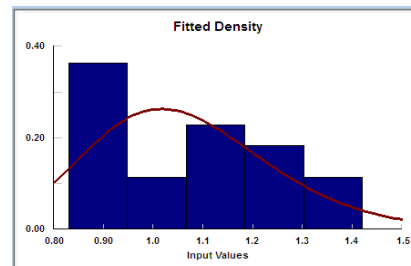
3.2 Penentuan Distribusi Komponen *Cane Cutter* Pada Mesin *Cane Cutter* I

Pendugaan data *Time to Failure* (TTF) dan data *Time to Repair* (TTR) pada komponen *cane cutter* berdistribusi lognormal karena pola data *Time to Failure* (TTF) dan data *Time to*

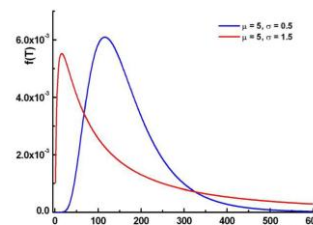
Repair (TTR) mirip dengan pola data distribusi Lognormal dan distribusi ini dapat memenuhi beberapa periode kerusakan yang terjadi, yaitu periode awal (*early failure*), periode normal, dan periode pengausan (*wear out*). Pola data *Time to Failure* (TTF) ditunjukkan pada Gambar 1, pola data *Time to Repair* (TTR) ditunjukkan pada Gambar 2, dan grafik distribusi lognormal pada Gambar 3.



Gambar 1. Pola data *Time to Failure*



Gambar 2. Pola data *Time to Repair*



Gambar 3. Grafik distribusi lognormal (Sumber: Ebeling, 1997)

3.3 Perhitungan Parameter Komponen *Cane Cutter*

3.3.1 Perhitungan Parameter *Time to Failure* (TTF) Komponen *Cane Cutter*

Parameter untuk *Time to Repair* (TTR) komponen *cane cutter* yang berdistribusi lognormal dimana mempunyai 2 parameter yaitu parameter lokasi (μ) dan parameter bentuk (σ^2). Perhitungan parameter dilakukan pada saat pengujian kesesuaian distribusi. Diketahui rata-rata data ($E(x)$) adalah 500,898 jam, variansi data ($Var(x)$) adalah 47.096,367 jam, dan $e = 2,718$. Perhitungan parameter TTF adalah sebagai berikut.

$$\mu = e^{\mu + \frac{\sigma^2}{2}}$$

$$500,989 = e^{\mu + \frac{\sigma^2}{2}}$$

$$\mu = 6,216 - \frac{\sigma^2}{2} \quad (\text{Pers. 1})$$

$$\sigma^2 = e^{2\mu + \sigma^2} \times (e^{\sigma^2} - 1)$$

$$47.097,367 = e^{2\mu + \sigma^2} \times (e^{\sigma^2} - 1) \quad (\text{Pers. 2})$$

Substitusi persamaan (Pers. 1) ke persamaan (Pers. 2), maka diperoleh parameter lokasi (μ) = 6,13 dan parameter bentuk (σ^2) = 0,172.

3.3.2 Perhitungan Parameter Time to Repair (TTR) Komponen Cane Cutter

Parameter untuk *Time to Repair* (TTR) komponen *cane cutter* yang berdistribusi lognormal dimana mempunyai 2 parameter yaitu parameter lokasi (μ) dan parameter bentuk (σ^2). Perhitungan parameter dilakukan pada saat pengujian kesesuaian distribusi. Diketahui rata-rata data ($E(x)$) adalah 1,065 jam, variansi data ($Var(x)$) adalah 0,035 jam, dan $e = 2,718$. Perhitungan parameter TTR adalah sebagai berikut.

$$\mu = e^{\mu + \frac{\sigma^2}{2}}$$

$$1,065 = e^{\mu + \frac{\sigma^2}{2}}$$

$$\mu = 0,063 - \frac{\sigma^2}{2} \quad (\text{Pers. 3})$$

$$\sigma^2 = e^{2\mu + \sigma^2} \times (e^{\sigma^2} - 1)$$

$$0,035 = e^{2\mu + \sigma^2} \times (e^{\sigma^2} - 1) \quad (\text{Pers. 4})$$

Substitusi persamaan (Pers.3) ke persamaan (Pers.4), maka diperoleh parameter lokasi (μ) = 0,048 dan parameter bentuk (σ^2) = 0,031.

3.4 Pengujian Kesesuaian Distribusi Data Komponen Cane Cutter

Pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui apakah data benar-benar berdistribusi lognormal. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan uji statistik, yaitu uji distribusi non-parametrik (Uji *Kolmogorov-Smirnov*).

Formulasi hipotesis pengujian ini adalah
 H_0 : Data TTF/TTR komponen *cane cutter* berdistribusi lognormal.

H_1 : Data TTF/TTR komponen *cane cutter* tidak berdistribusi lognormal.

3.4.1 Pengujian Kesesuaian Distribusi (Goodness of Fit Test) Data Time to Failure (TTF) Komponen Cane Cutter

Contoh perhitungan *Kolmogorov Smirnov Test* untuk $i = 404,33$ adalah sebagai berikut.

$$fa = \frac{n}{k} \quad (\text{Pers. 5})$$

$$fa = \frac{1}{39}$$

$$= 0,026$$

$$Fa = \text{kumulatif } fa$$

$$= 0,026$$

$$Fe = \text{CDF distribusi lognormal} = \int_0^{tp} f(t)dt \quad (\text{Pers. 6})$$

$$= \text{LOGNORMDIST}(x, \mu, \sigma)$$

$$= \text{NORMDIST}\left(\frac{\ln(x) - \mu}{\sigma}\right)$$

$$Fe = (\text{LOGNORMDIST}, xi, \text{mean}, \text{standar deviasi})$$

$$Fe = (\text{LOGNORMDIST}, 404,33, 6,23, 0,415)$$

$$Fe = 0,292$$

$$D_{\text{hitung}} = | \text{kumulatif aktual} - \text{kumulatif } expected |$$

$$D_{\text{hitung}} = | 0,051 - 0,292 |$$

$$D_{\text{hitung}} = 0,240$$

Data *Time to Failure* (TTF) diurutkan dari data yang terkecil sampai dengan data yang terbesar. Hasil perhitungan uji *Kolmogorov-Smirnov* untuk data TTF terdapat pada Tabel 1.

Hasil pengujian *Kolmogorov-Smirnov* untuk data TTF menunjukkan bahwa H_0 diterima berarti data TTF yang ada sesuai dengan distribusi lognormal dengan nilai $D_{\text{max}} = 0,256 < D_{\text{crit}(\alpha=0,01)} = 0,26068$ maka H_0 diterima yang berarti bahwa berdistribusi lognormal.

Tabel 1. Uji *Kolmogorov-Smirnov* Data TTF Komponen Cane Cutter

I	Xi	fa (Aktual)	Fa (Kumulatif Aktual)	fe (Expected)	Fe (Kumulatif Expected)	D hitung
1	402.75	0.026	0.026	0.278	0.278	0.252
2	404.33	0.026	0.051	0.014	0.292	0.240
3	424.33	0.026	0.077	0.041	0.333	0.256
4	428.12	0.026	0.103	0.008	0.341	0.238
5	438.33	0.026	0.128	0.021	0.362	0.233
..
D hitung maksimum						0,256
D critical ($\alpha=0,01$)						0,26068

3.4.2 Pengujian Kesesuaian Distribusi (Goodness of Fit Test) Data Time to Repair (TTR) Komponen Cane Cutter

Contoh perhitungan *Kolmogorov Smirnov Test* TTR untuk $i = 0.83$.

$$f_a = \frac{n}{k}$$

$$f_a = \frac{10}{44}$$

$$= 0,227$$

$$F_a = \text{kumulatif dari } f_a$$

$$= 0,068$$

$$F_e = \text{CDF distribusi lognormal} = \int_0^{t_p} f(t)dt$$

$$= \text{LOGNORMDIST}(x, \mu, \sigma)$$

$$= \text{NORMDIST}\left(\frac{\ln(x) - \mu}{\sigma}\right)$$

$$F_e = (\text{LOGNORMDIST}, xi, \text{mean}, \text{standar deviasi})$$

$$F_e = (\text{LOGNORMDIST}, 0,75, 0,048, 0,176)$$

$$F_e = 0,092$$

$$D_{\text{hitung}} = | \text{kumulatif aktual} - \text{kumulatif expected} |$$

$$D_{\text{hitung}} = | 0,227 - 0,092 |$$

$$D_{\text{hitung}} = 0,136$$

Data *Time to Repair* (TTR) diurutkan dari data yang terkecil sampai dengan data yang terbesar. Hasil perhitungan uji *Kolmogorov-Smirnov* untuk data TTR terdapat pada Tabel 2.

Hasil pengujian *Kolmogorov-Smirnov* untuk data TTR menunjukkan bahwa maka H_0 diterima dengan nilai $D_{\text{max}} = 0,173 < D_{\text{crit}}(\alpha=0,01) = 0,513$ maka H_0 diterima yang berarti bahwa berdistribusi lognormal.

3.5 Perhitungan Mean Time to Failure (MTTF) dan Mean Time to Repair (MTTR) Komponen Cane Cutter

Perhitungan *Mean Time to Failure* (MTTF) dilakukan untuk mengetahui waktu rata-rata antar kerusakan yaitu komponen selesai diperbaiki sampai komponen rusak kembali. Perhitungan *Mean Time to Repair* (MTTR) dilakukan untuk mengetahui waktu rata-rata yang diperlukan dalam kegiatan penggantian komponen.

1. Perhitungan *Mean Time To Failure* (MTTF) komponen cane cutter adalah sebagai berikut.

$$MTTF = E(T) = \int_0^{\infty} t \times f(t)dt \quad (\text{Pers. 7})$$

$$MTTF = e^{\mu + \frac{\sigma^2}{2}}$$

$$MTTF = e^{6,13 + \frac{0,172}{2}}$$

$$MTTF = 500,898 \text{ jam}$$

2. Perhitungan *Mean Time To Repair* (MTTR) komponen cane cutter adalah sebagai berikut.

$$MTR = E(T) = \int_0^{\infty} t \times f(t)dt \quad (\text{Pers. 8})$$

$$MTTR = e^{\mu + \frac{\sigma^2}{2}}$$

$$MTTR = e^{0,048 + \frac{0,031}{2}}$$

$$MTTR = 1,065 \text{ jam}$$

3.6 Perhitungan Interval Waktu Penggantian Komponen Cane Cutter

Pendekatan penggantian pencegahan yang digunakan yaitu *age replacement* dimana komponen diganti saat telah mencapai umur penggantian optimal yang telah ditentukan dengan tujuan meminimalisasi *downtime*.

Tabel 2. Uji *Kolmogorov-Smirnov* Data TTR Komponen Cane Cutter

I	Xi	fa (Aktual)	Fa (Kumulatif Aktual)	fe (Expected)	Fe (Kumulatif Expected)	D hitung
1	0,830	0,227	0,227	0,092	0,092	0,136
2	0,920	0,136	0,364	0,136	0,228	0,136
3	1,000	0,114	0,477	0,165	0,393	0,085
4	1,080	0,114	0,445	0,173	0,565	0,120
5	1,170	0,114	0,559	0,167	0,732	0,173
6	1,200	0,068	0,627	0,045	0,777	0,150
7	1,250	0,114	0,740	0,063	0,840	0,100
8	1,330	0,045	0,786	0,071	0,911	0,125
9	1,420	0,068	0,854	0,046	0,957	0,103
D hitung max						0,173
D critical ($\alpha=0,01$)						0,513

Tabel 3. Interval Waktu Penggantian Komponen *Cane Cutter*

Tp	Wc	E(TTF)	E(TTRc)	Wp	E(TTRp)	E(TTR)	E (Satu Siklus)	D(tp)
146	0,000	143,373	1,065	1,000	0,5	0,500	146,500	0,003412969
150	0,000	147,315	1,065	1,000	0,5	0,500	150,500	0,003322259
200	0,000	195,305	1,065	1,000	0,5	0,500	200,500	0,002493766
250	0,000	242,319	1,065	1,000	0,5	0,500	250,500	0,001996039
300	0,002	288,321	1,065	0,998	0,5	0,501	300,482	0,001667086
350	0,030	334,733	1,065	0,970	0,5	0,517	350,059	0,001476751
369*	0,065	348,554	1,065	0,935	0,5	0,537	368,208	0,001457669
400	0,170	370,365	1,065	0,830	0,5	0,596	395,558	0,001506858
450	0,443	405,312	1,065	0,557	0,5	0,750	430,953	0,001741012
500	0,720	431,829	1,065	0,280	0,5	0,907	451,824	0,002006977
500,898**	0,725	431,716	1,065	0,275	0,5	0,910	451,651	0,002014002
550	0,893	449,026	1,065	0,107	0,5	1,005	460,835	0,002179839
600	0,967	458,669	1,065	0,033	0,5	1,046	464,379	0,002253233
650	0,992	462,400	1,065	0,008	0,5	1,060	464,961	0,002280791
700	0,998	463,991	1,065	0,002	0,5	1,064	465,527	0,002285303
750	1,000	464,127	1,065	0,000	0,5	1,065	465,192	0,002289377
800	1,000	464,355	1,065	0,000	0,5	1,065	465,420	0,002288256
850	1,000	464,400	1,065	0,000	0,5	1,065	465,465	0,002288035
900	1,000	464,408	1,065	0,000	0,5	1,065	465,473	0,002287995
924***	1,000	464,409	1,065	0,000	0,5	1,065	465,474	0,002287990
950	1,000	464,409	1,065	0,000	0,5	1,065	465,474	0,002287990
1000	1,000	464,409	1,065	0,000	0,5	1,065	465,474	0,002287990

Downtime (D tp) diperoleh dari hasil pembagian antara total ekspektasi *downtime* per siklus (E(TTR)) dengan ekspektasi satu siklus (E(satu siklus)). Total ekspektasi *downtime* per siklus (E(TTR)) diperoleh dari probabilitas (Wc/Wp) dan ekspektasi *downtime* (*corrective/preventive*). Perhitungan Wc dan E(TTF) dilakukan dengan bantuan *software Mathcad* dan *Maple*. Perhitungan interval waktu penggantian yang optimal dilakukan dengan interval waktu 1-1.000 jam tetapi pada interval waktu 1-145 jam menghasilkan D(tp) sebesar tak hingga.

Keterangan:

Tp = waktu penggantian

Wc = probabilitas terjadinya *corrective maintenance*

E(TTF) = ekspektasi terjadinya kerusakan sebelum waktu penggantian (tp)

E(TTRc) = ekspektasi waktu perbaikan secara *corrective*

Wp = probabilitas terjadinya *preventive maintenance*

E(TTRp) = ekspektasi waktu perbaikan secara *preventive*

E(TTR) = total ekspektasi *downtime* per siklus

E(satu siklus) = total ekspektasi panjang satu siklus

D(tp) = probabilitas *downtime*

* = interval waktu penggantian yang optimal dengan D(tp) terkecil

** = rata-rata waktu penggantian saat ini

*** = interval mulai terjadinya *steady state*

Berdasarkan Tabel 3, maka diperoleh probabilitas *downtime* (D(tp)) minimal dengan interval waktu antara 1 jam hingga 1.000 jam adalah 0,001457669 pada waktu penggantian 369 jam.

3.7 Perhitungan Downtime

Downtime rata-rata untuk kondisi saat ini didapatkan melalui perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Downtime} &= D(tp) \times \text{durasi satu musim giling} \quad (\text{Pers. 9}) \\ \text{Downtime} &= 0,002014002 \times (12 \text{ periode} \times 15 \text{ hari} \times 24 \text{ jam}) \\ \text{Downtime} &= 0,002014002 \times 4.320 \text{ jam} \\ \text{Downtime} &= 8,70 \text{ jam} \end{aligned}$$

Estimasi downtime rata-rata dengan usulan penerapan *preventive maintenance* didapatkan melalui perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Downtime} &= D(tp) \times \text{durasi satu musim giling} \\ \text{Downtime} &= 0,001457669 \times (12 \text{ periode} \times 15 \text{ hari} \times 24 \text{ jam}) \\ \text{Downtime} &= 0,001457669 \times 4.320 \text{ jam} \\ \text{Downtime} &= 6,297 \text{ jam} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, maka terjadi pengurangan downtime sebesar 2,403 jam dalam sekali musim giling jika diterapkan usulan *preventive maintenance*.

3.8 Perhitungan Availability dan Reliability

3.8.1 Perhitungan Availability

Tingkat *availability* kondisi saat ini didapatkan melalui perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} A &= 1 - D(tp) \quad (\text{Pers. 10}) \\ A &= \frac{E(\text{downtime})}{E(\text{uptime} + \text{downtime})} \\ A &= 1 - \frac{E(\text{TTR})}{E(\text{waktu siklus})} \\ A &= 1 - \frac{Wc \times E(\text{TTRc}) + Wp \times E(\text{TTRp})}{Wc \times (E(\text{TTF}) + E(\text{TTRc})) + Wp \times (tp + E(\text{TTRp}))} \\ A &= 1 - \frac{0,725 \times 1,065 + 0,275 \times 0,5}{0,725 \times (431,716 + 0,5) + 0,275 \times (500,898 + 0,5)} \\ A &= 99,799 \% \end{aligned}$$

Estimasi tingkat *availability* jika diterapkan usulan *preventive maintenance* dengan waktu penggantian 369 jam didapatkan melalui perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} A &= 1 - D(tp) \\ A &= \frac{E(\text{downtime})}{E(\text{uptime} + \text{downtime})} \\ A &= 1 - \frac{E(\text{TTR})}{E(\text{waktu siklus})} \\ A &= 1 - \frac{Wc \times E(\text{TTRc}) + Wp \times E(\text{TTRp})}{Wc \times (E(\text{TTF}) + E(\text{TTRc})) + Wp \times (tp + E(\text{TTRp}))} \\ A &= 1 - \frac{0,065 \times 1,065 + 0,935 \times 0,5}{0,065 \times 348,554 + 1,065 + 0,935 \times (369 + 0,5)} \\ A &= 99,854 \% \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, maka terjadi peningkatan tingkat *availability* sebesar 0,055% jika diterapkan usulan *preventive maintenance*.

3.8.2 Perhitungan Reliability

Tingkat *reliability* pada kondisi saat ini diperoleh dengan perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} R &= \int_{tp}^{\infty} f(t) dt \quad (\text{Pers. 11}) \\ R &= 1 - \int_0^{tp} f(t) dt \\ R &= 1 - \int_0^{tp} \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma t} e^{-\frac{1}{2\sigma^2} [\ln(t) - \mu]^2} dt \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R &= 1 - \int_0^{500,898} \frac{1}{\sqrt{2,3,14} 0,415.500,898} e^{-\frac{1}{2,0,172} [\ln(500,898) - 6,13]^2} dt \\ R &= 1 - 0,725 \\ R &= 27,5\% \end{aligned}$$

Jika diterapkan usulan *preventive maintenance*, maka interval waktu penggantian berubah menjadi 369 jam dan *reliability* diperoleh dari perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} R &= \int_{tp}^{\infty} f(t) dt \\ R &= 1 - \int_0^{tp} f(t) dt \\ R &= 1 - \int_0^{tp} \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma t} e^{-\frac{1}{2\sigma^2} [\ln(t) - \mu]^2} dt \\ R &= 1 - \int_0^{369} \frac{1}{\sqrt{2,3,14} 0,415.369} e^{-\frac{1}{2,0,172} [\ln(369) - 6,13]^2} dt \\ R &= 1 - 0,065 \\ R &= 93,5\% \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, maka terjadi peningkatan *reliability* sebesar 66 % jika diterapkan usulan *preventive maintenance*.

3.9 Perhitungan Estimasi Biaya Pada Kondisi Saat Ini Dengan Kondisi Jika Diterapkan Usulan Preventive Maintenance.

Untuk membandingkan biaya kerusakan sebelum diterapkannya *preventive maintenance* dengan biaya jika diterapkan usulan *preventive maintenance*, maka perlu dilakukan perhitungan total *failure/corrective cost* dan total *preventive cost*. Total *failure/corrective cost* adalah total biaya pada kondisi saat ini, sedangkan total biaya *preventive cost* adalah total biaya jika diterapkan usulan *preventive maintenance* yang diterapkan pada satu musim giling. Total biaya keseluruhan terdiri dari total biaya *corrective cost* dan *preventive cost*.

Berikut ini adalah contoh perhitungan total biaya yang harus dikeluarkan jika dilakukan penggantian komponen pada interval waktu 369 jam.

1. *Corrective cost* terdiri dari:
 - a. *Opportunity cost* = keuntungan/musim giling
= Rp 6.655.241.890
 - b. Biaya komponen
= jumlah komponen × harga/komponen
= 56 × Rp 145.000
= Rp 8.120.000
 - c. $T_{siklus} = Wc \times (E(\text{TTF}) + E(\text{TTRc})) + Wp \times (tp + E(\text{TTRp}))$
 $T_{siklus} = 0,065 \times (348,554 + 1,065) + 0,935 \times (369 + 0,5)$
 $T_{siklus} = 368,208 \text{ jam}$

$$\begin{aligned} \text{Total corrective cost} &= \text{prob}(\text{corrective}) \times ((\text{biaya komponen} \times \text{Nsiklus}) + \\ &\quad (\text{opportunity cost} \times \frac{E(\text{TTRc})}{E(\text{satu siklus})})) \quad (\text{Pers. 12}) \\ &= 0,065 \times \left(\left(8.120.000 \times \frac{4320}{368,208} \right) + \right. \\ &\quad \left. 6.655.241.890 \times \frac{1,065}{368,208} \right) \\ &= \text{Rp } 7.443.638,00 \end{aligned}$$

2. Preventive cost terdiri dari:

a. Opportunity cost = keuntungan/musim giling
= Rp 6.655.241.890

b. Biaya komponen
= jumlah komponen × harga/komponen
= 56 × Rp 145.000
= Rp 8.120.000

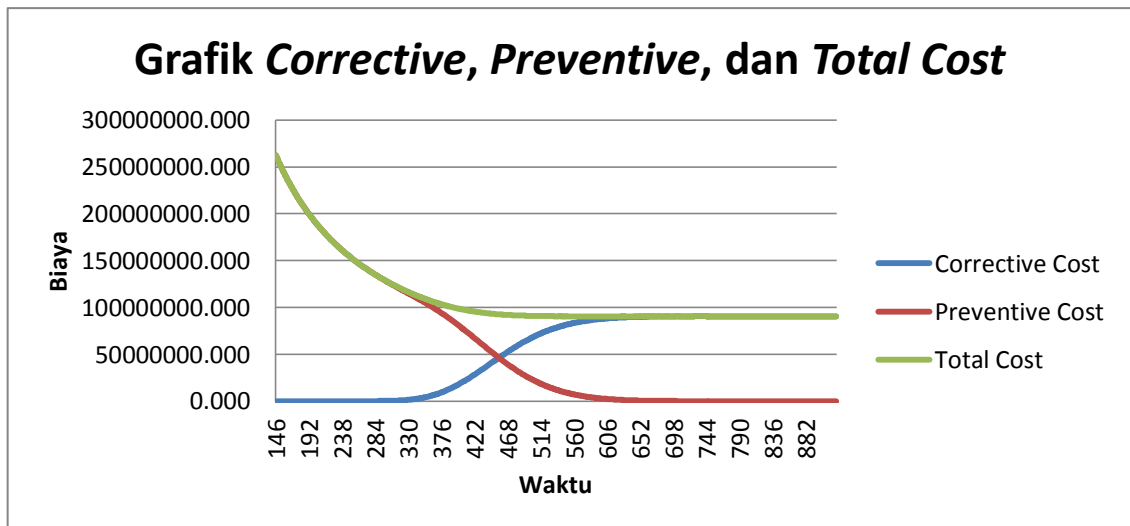
c. $T_{\text{siklus}} = W_c \times (E(\text{TTF}) + E(\text{TTRc})) + W_p \times (t_p + E(\text{TTRp}))$
 $T_{\text{siklus}} = 0,065 \times (348,554 + 1,065) + 0,935 \times (369 + 0,5)$
 $T_{\text{siklus}} = 368,208 \text{ jam}$

Total preventive cost
 $= \text{prob}(\text{preventive}) \times ((\text{biaya komponen} \times N \text{ siklus}) + (\text{opportunity cost} \times \frac{E(\text{TTRc})}{T_{\text{siklus}}}))$
 $= 0,935 \times \left(\left(8.120.000 \times \frac{4320}{368,208} \right) + \right. \\ \left. 6.655.241.890 \times \frac{0,5}{368,208} \right)$
 $= \text{Rp } 90.587.729,00$

Dengan cara yang sama, maka selanjutnya diperoleh estimasi total biaya yang terdapat pada Tabel 4.

Tabel 4. Perhitungan Estimasi Corrective Cost dan Preventive Cost

Tp	Wc	Wp	E(Satu Siklus)	N siklus	Corrective Cost (Rp)	Preventive Cost (Rp)	Total Cost (Rp)
146	0,000	1,000	146,500	29,488	0	262.157.140	262.157.140
150	0,000	1,000	150,500	28,704	0	255.189.508	255.189.508
200	0,000	1,000	200,500	21,546	1	191.551.226	191.551.227
250	0,000	1,000	250,500	17,246	2279	153.315.432	153.317.711
300	0,002	0,998	300,482	14,377	230.701	127.604.702	127.835.402
350	0,030	0,970	350,059	12,341	3613640	106.421.619	110.035.259
369	0,065	0,935	368,208	11,733	7.443.638	97.525.465	104.969.103
400	0,170	0,830	395,558	10,921	18.121.890	80.587.407	98.709.297
450	0,443	0,557	430,953	10,024	43344931	49.639.146	92.984.078
500	0,720	0,280	451,824	9,561	67.193.644	23.800.618	90.994.262
500,898	0,725	0,275	451,651	9,565	67.686.153	23.384.551	91.070.704
550	0,893	0,107	460,835	9,374	81709251	8.917.396	90.626.648
600	0,967	0,033	464,379	9,303	87.804.823	2.729.231	90.534.054
650	0,992	0,008	464,961	9,291	89962082	660.803	90.622.885
700	0,998	0,002	465,527	9,280	90.396.286	165.000	90.561.286
750	1,000	0,000	465,192	9,286	90642643	0	90.642.643
800	1,000	0,000	465,420	9,282	90.598.239	0	90.598.239
850	1,000	0,000	465,465	9,281	90589481	0	90.589.481
900	1,000	0,000	465,473	9,281	90.587.924	0	90.587.924
924	1,000	0,000	465,474	9,281	90.587.729	0	90.587.729
950	1,000	0,000	465,474	9,281	90587729	0	90.587.729
1000	1,000	0,000	465,474	9,281	90.587.729	0	90.587.729



Gambar 4. Grafik *Corrective Cost*, *Preventive Cost*, dan *Total Cost*

Berdasarkan Tabel 3, maka total *corrective cost* sebesar Rp 90.587.729,00 didapatkan pada saat probabilitas terjadinya *corrective maintenance* sebesar 1 dan total biaya tidak mengalami kenaikan lagi (konstan) sedangkan total biaya jika dilakukan *preventive maintenance* dengan interval waktu penggantian setiap 369 jam adalah Rp 104.969.103,00.

Berdasarkan Tabel 3, dapat diketahui perbandingan antara biaya kerusakan pada kondisi saat ini (*corrective cost*) dengan biaya jika diterapkan usulan *preventive maintenance* (*preventive cost*), maka dapat dihitung besarnya penghematan jika diterapkan *preventive maintenance*.

$Tc(tp) =$

$$\frac{\text{Total corrective cost} - (\text{total corrective cost } tp + \text{total preventive cost } tp)}{\text{total corrective cost}}$$

100%

$$Tc(tp) = \frac{90.587.729 - (7.443.638 + 90.587.729)}{90.587.729} \times 100\%$$

$$Tc(tp) = -15,876 \%$$

4. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Pola kerusakan komponen *cane cutter* adalah berdistribusi lognormal berdasarkan pengujian *Kolmogorov-Smirnov* dengan parameter lokasi (μ) sebesar 6,13 dan parameter bentuk (σ^2) sebesar 0,172.
2. Berdasarkan pendekatan *age replacement* dengan mencoba beberapa interval waktu (1-1.000 jam), maka diperoleh probabilitas *downtime* yang terkecil yaitu 0,001457669

untuk penggantian komponen *cane cutter* setelah pemakaian selama 369 jam.

3. Tingkat *availability* pada kondisi saat ini sebesar 97,799% dan estimasi tingkat *availability* jika diterapkan usulan *preventive maintenance* sebesar 99,854% sehingga terjadi peningkatan *availability* sebesar 0,055%. Tingkat *reliability* pada kondisi saat ini sebesar 27,5% dan estimasi tingkat *reliability* jika diterapkan usulan *preventive maintenance* sebesar 93,5% sehingga terjadi peningkatan *reliability* sebesar 66%.
4. Total biaya pada kondisi saat ini (*corrective cost*) adalah Rp 90.587.729,00 sedangkan estimasi total biaya jika diterapkan usulan *preventive maintenance* (*preventive cost*) adalah Rp 104.969.103,00. Jika usulan *preventive maintenance* diterapkan, maka besarnya *downtime* akan semakin kecil yang menyebabkan meningkatnya keuntungan yang diperoleh perusahaan karena jumlah output yang dihasilkan semakin besar. Tetapi jumlah keuntungan digunakan untuk menutupi biaya *preventive maintenance* yang semakin besar karena frekuensi penggantian komponen *cane cutter* lebih banyak.

Daftar Pustaka

- Abbas, Bahtiar S.; Edi Steven; Harry Christian dan Tedy Sumanto. (2009). *Penjadwalan Preventive Maintenance Mesin B.Flute Pada PT. AMW. INASEA*. Vol. 10, No.2, Oktober (2009): 97-104
- Assauri, S. (1999). *Manajemen Produksi dan Operasi*. Edisi Revisi. Jakarta: Fakultas Ekonomi, Universitas Indonesia.
- Corder. (1992). *Teknik Manajemen Pemeliharaan*, Jakarta: Erlangga.
- Ebeling, C.E. (1997). *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. Singapore: The McGraw-Hill Company.
- Jardine, A.K.S. (2006). *Maintenance, Replacement, and Reliability*. Canada: Pittman Publishing Company.
- Pawesti, G, H., (2005), Analisis Kerusakan Mesin untuk Menentukan Penjadwalan Perawatan Komponen Kritis Berdasarkan MTTF (*Mean Time To Failure*) dengan Pendekatan Reability, Teknik Manajemen Industri, IST. AKPRIND, Yogyakarta.
- Wang, H. (2002). *A Survey Of Maintenance Policies of Deteriorating Systems*. *European Journal of Operational Research*. 139: 469-489