

PENERAPAN MODEL PREVENTIVE MAINTENANCE SMITH DAN DEKKER DI PD. INDUSTRI UNIT INKABA

Hari Adianto

Jurusan Teknik dan Manajemen Industri, Institut Teknologi Nasional, Bandung

Susana, Carles Sitompul

Jurusan Teknik dan Manajemen Industri, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung

ABSTRAK

Dalam era persaingan industri yang semakin global disertai perkembangan teknologi yang pesat, industri-industri terus berusaha meningkatkan kuantitas dan kualitas produk yang dihasilkannya. Perkembangan hasil industri yang semakin meningkat secara terus-menerus memerlukan dukungan proses produksi yang lancar. Dalam hal ini perusahaan industri menginginkan availabilitas sistem yang tinggi. PD Industri Unit Inkaba merupakan salah satu perusahaan yang bergerak dalam bidang industri barang teknik karet. Perusahaan menginginkan agar proses produksinya berjalan dengan lancar agar mampu mempertahankan eksistensinya dan meningkatkan kualitas produk serta efisiensi biaya agar mampu bersaing dengan pasar luar negeri. Kelancaran proses produksi membutuhkan dukungan mesin-mesin atau peralatan produksi yang berada dalam kondisi yang baik. Untuk menjaga kondisi dari mesin-mesin tersebut agar berada dalam keadaan yang optimal saat digunakan, maka diperlukan kegiatan perawatan pada mesin-mesin tersebut. M.A.J. Smith dan R. Dekker mengembangkan suatu model yang menggabungkan model availabilitas dan model perawatan pencegahan dengan memperhatikan *uptime* dan *downtime* dari sistem. Model ini merupakan model *1 out of n system*, yaitu sebuah model yang terdiri dari satu mesin yang beroperasi dan didukung oleh $(n-1)$ unit mesin cadangan. Model *1 out of n system* juga dapat diaplikasikan pada komponen-komponen mesin. Model Smith dan Dekker memberikan perkiraan *uptime* dan *downtime* sistem sehingga dapat diperoleh perkiraan yang baik untuk rata-rata biaya operasi dalam jangka waktu panjang. Hasil penentuan umur penggantian pencegahan komponen dan jumlah komponen cadangan yang optimal diharapkan mampu menjaga keandalan sistem dan mampu menghindari menurunnya availabilitas sistem karena tindakan pemeliharaan.

Kata kunci: model availabilitas, model perawatan pencegahan.

ABSTRACT

The globalization era along with fast development of technology, industries must try to increase the quantity and quality of products that they have produced. The development of industrial products which have been increase continually need support from fluency of production process. In this case the industrial companies want a high availability system. PD Industri Unit Inkaba is one of the companies that moves in sector rubber technique industry. The company wants the production process go smoothly so that the company can keeps the existence and increases the product's quality with cost efficiency and can competes with foreign markets. The smoothness of production process needs support from machines or production's tools that have good condition. To keep the machines in good condition so that they will in the optimal condition when used, then the machines need to be maintained. M.A.J. Smith dan R. Dekker develop a model that combine availability model and preventive maintenance and consider the expected uptime and downtime of the system. This model is a 1 out of n system model, which has one operating machine and support by $(n - 1)$ unit machine reserves. A 1 out of n system is also applicable to replaceable components. Smith and Dekker's model gives the expected uptime and downtime of the system approximation that can gives good approximation of long term average operating cost. The results from decision of component preventive replacement age and optimal number of component reserve are expected to be able to keep the reliability system and be able to avoid the decease of availability system because of maintenance activity.

Keywords: combine availability mode, preventive maintenanc.

1. LATAR BELAKANG

1.1. Latar Belakang

Dalam era persaingan industri yang semakin global disertai perkembangan teknologi yang pesat, industri-industri terus berusaha meningkatkan kuantitas dan kualitas produk yang dihasilkannya. Perkembangan hasil industri yang semakin meningkat secara terus-menerus memerlukan dukungan proses produksi yang lancar. Dalam hal ini pihak perusahaan menginginkan agar peralatan produksinya tetap berada dalam kondisi yang baik sehingga dapat beroperasi secara memuaskan. Untuk menjaga kondisi dari mesin-mesin tersebut agar berada dalam keadaan yang optimal saat digunakan, maka diperlukan kegiatan perawatan pada mesin-mesin tersebut untuk menjaga keandalan sistem dan menyediakan mesin cadangan untuk menghindari menurunnya availabilitas sistem karena tindakan pemeliharaan.

Sistem produksi suatu perusahaan pada umumnya memiliki kegiatan perawatan sebagai penunjang kegiatan operasional sistem. Kegiatan perawatan ini dimaksudkan untuk menjaga dan mempertahankan kelangsungan operasional dan kinerja sistem agar berjalan sesuai dengan yang diharapkan. Ketika suatu sistem mengalami kerusakan maka sistem tersebut memerlukan perawatan perbaikan. Perawatan perbaikan ini menyebabkan biaya *downtime* yang mahal dan resiko yang tinggi jika sistem tersebut adalah sistem yang besar dengan unit-unit yang mahal harganya. Jika kita melakukan perawatan sebelum terjadinya kerusakan atau perawatan pencegahan, maka biaya yang dihasilkan akan lebih kecil daripada biaya perawatan perbaikan. Hal ini dikarenakan perawatan pencegahan memerlukan waktu yang lebih kecil jika dibandingkan dengan perawatan perbaikan sehingga *uptime* yang diharapkan dari sistem juga dapat meningkat. Selain itu, dengan perawatan pencegahan biaya-biaya operasi yang mungkin terjadi dapat dikendalikan.

Dalam pembahasan yang sebelumnya mengenai perawatan pencegahan, tidak banyak yang mengkombinasikan perawatan pencegahan dengan model availabilitas. Pengaruh tindakan perawatan pencegahan pada sistem yang kompleks yang terlihat pada availabilitas sistem keseluruhan tidak dipertimbangkan. Dalam jurnal Smith dan Dekker ini, juga diceritakan mengenai dua jurnal lain yang mengkombinasikan model availabilitas dengan perawatan pencegahan yaitu Aven dan Van der Duyn Schouten & Wartenhorst. Dalam model Aven, asumsi yang digunakan yaitu waktu perbaikan memiliki distribusi eksponensial dan sistem yang dioperasikan memiliki laju kerusakan konstan. Model ini tidak sesuai dengan sistem perawatan pencegahan yang optimal. Model Van der Duyn Schouten & Wartenhorst mempertimbangkan *uptime* dan *downtime* dari 1 *out of 2 system* dengan *Markovian degrading units*. Disini perawatan pencegahan dilakukan jika keadaan unit yang dioperasikan melebihi ambang batas tertentu.

M.A.J. Smith dan R. Dekker mengembangkan suatu model yang menggabungkan model availabilitas dan model perawatan pencegahan dengan memperhatikan *uptime* dan *downtime* dari sistem. Model ini merupakan model 1 *out of n system*, yaitu sebuah model yang terdiri dari satu mesin yang beroperasi dan didukung oleh (n-1) buah mesin cadangan. Model 1 *out of n system* juga dapat diaplikasikan pada komponen-komponen yang dapat diganti. Selain itu model ini menggunakan distribusi kerusakan yang meningkat terhadap waktu.

Pada bagian pertama, pendekatan yang dilakukan yaitu waktu yang dibutuhkan untuk perawatan pencegahan sama dengan waktu yang dibutuhkan untuk perawatan perbaikan. Kemudian pendekatan yang kedua yaitu waktu yang dibutuhkan untuk perawatan pencegahan tidak sama dengan waktu yang dibutuhkan untuk perawatan perbaikan, dimana waktu perawatan pencegahan lebih kecil dari waktu perawatan perbaikan. Dengan mengetahui perkiraan *uptime* dan *downtime* sistem, dapat diperoleh perkiraan yang baik untuk rata-rata biaya operasi dalam jangka waktu panjang.

Salah satu industri manufaktur yang relatif cukup stabil dan mampu bertahan sekarang ini adalah industri barang teknik karet. Industri ini mampu bertahan dikarenakan industri barang teknik karet ini banyak sekali digunakan pada perusahaan-perusahaan yang bergerak di bidang industri yang sedang marak belakangan ini. Oleh karena itu industri barang teknik karet ini selain harus mampu mempertahankan eksistensinya, juga harus mampu meningkatkan kualitas produk dan efisiensi biaya agar mampu bersaing dengan pasar luar negeri yang pada tahun-tahun berikutnya akan mulai masuk ke Indonesia.

1.2. Perumusan Masalah

Permasalahan dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana perilaku model kerusakan komponen mesin yang diteliti di PD Industri Unit Inkaba?
2. Kapankah umur penggantian komponen mesin yang optimal untuk mendapatkan perawatan pencegahan sehingga rata-rata biaya operasi dalam jangka waktu panjang minimal?
3. Berapakah jumlah komponen mesin cadangan yang optimal yang dibutuhkan oleh sistem yang mendapatkan perawatan pencegahan?

1.3. Tujuan Penelitian

Penulis melakukan penelitian dengan tujuan sebagai berikut:

1. Meneliti perilaku model kerusakan komponen mesin di PD. Industri Unit Inkaba.
2. Menentukan umur penggantian komponen mesin yang optimal untuk mendapatkan perawatan pencegahan sehingga rata-rata biaya operasi dalam jangka waktu panjang minimal.
3. Menentukan jumlah komponen mesin cadangan yang optimal yang dibutuhkan oleh sistem yang mendapatkan perawatan pencegahan.

1.4. Pembatasan Masalah

Dalam perhitungan terdapat beberapa keterbatasan sehingga dilakukan beberapa pembatasan masalah sebagai berikut:

1. Sistem yang diteliti adalah sistem mesin tunggal yang memerlukan keandalan yang tinggi dan setiap unit memiliki dua keadaan yaitu *up* (berfungsi) atau *down* (rusak atau sedang memperoleh perawatan).
2. Kompensasi untuk kerusakan-kerusakan ringan setelah sebuah perbaikan minimal dilakukan tidak termasuk ke dalam ongkos operasi.

Asumsi-asumsi yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

1. Pada bagian pertama diasumsikan waktu yang diperlukan untuk perawatan pencegahan (R_{pm}) sama dengan waktu untuk perawatan perbaikan (R_{cm}).
2. Pada bagian kedua diasumsikan waktu yang diperlukan untuk perawatan pencegahan tidak sama dengan waktu untuk perawatan perbaikan ($R_{pm} < R_{cm}$).
3. Dalam model Smith dan Dekker, distribusi umur hidup unit $F(t)$ mewakili sebuah rata-rata kerusakan yang meningkat, dimana sebuah unit yang beroperasi jika telah mencapai umur tertentu (T_{pm}) akan segera diganti dengan sebuah unit yang lain yang *standby* yang tersedia dan unit tersebut akan menjalani perawatan pencegahan.
4. Data waktu antar kerusakan mesin mengikuti Distribusi Weibull Dua Parameter.
5. Terdapat biaya-biaya konstan untuk perawatan pencegahan (C_p) dan perawatan perbaikan (C_c), serta biaya variabel untuk *downtime* (C_d).

- Setelah sebuah unit mesin mendapatkan perawatan pencegahan atau perawatan perbaikan maka unit tersebut akan kembali berada pada kondisi sebaik seperti masih baru.

2. PENGOLAHAN DAN ANALISIS DATA

Pengolahan data terdiri dari pengujian fungsi distribusi waktu antar kerusakan dengan uji S-Mann, penentuan parameter distribusi waktu antar kerusakan, dan penentuan *uptime* dan *downtime* sistem, serta biaya per satuan waktu dengan menggunakan model Smith dan Dekker untuk menentukan jumlah mesin cadangan dan waktu penggantian yang optimal.

2.1. Validasi Fungsi Distribusi Waktu Antar Kerusakan

Untuk menguji apakah distribusi waktu antar kerusakan yang diperoleh mengikuti Distribusi Weibull, maka dilakukan uji hipotesis. Uji hipotesis (H_0) ini menyatakan bahwa pola waktu antar kerusakan mengikuti Distribusi Weibull Dua Parameter. Kemudian dilakukan pengujian kecocokan pola waktu antar kerusakan dengan menggunakan metode pengujian Weibull Dua Parameter. Pengujian ini dikembangkan oleh kelompok Mann dan dikenal sebagai *Mann's Test* atau Uji S-Mann. Pertama dilakukan perhitungan nilai M_i menggunakan rumus:

$$M_i = Z_{i+1} - Z_i, \text{ dengan } Z_i = \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{i - 0.5}{n + 0.25} \right) \right]$$

Setelah itu dilakukan perhitungan nilai M . Rumus untuk menghitung nilai M yaitu:

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

dimana:

$$k_1 = \left\lceil \frac{r}{2} \right\rceil, k_2 = \left\lfloor \frac{r-1}{2} \right\rfloor \text{ dan } X_i = \ln t_i$$

Hipotesis nol (H_0) akan diterima jika persyaratan pengujian dipenuhi yaitu nilai M hasil perhitungan lebih kecil dari nilai F_{crit} dari tabel ($M < F_{crit}$). Hasil rekapitulasi perhitungannya dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Tabel Rekapitulasi Hasil Uji S-Mann

Komponen	M_{hitung}	F_{tabel}	Kesimpulan
Karet Copling	0.2257	1.857	$M_{hitung} < F_{tabel}$, data berdistribusi Weibull Dua Parameter
Stop Kran	0.3091	1.857	$M_{hitung} < F_{tabel}$, data berdistribusi Weibull Dua Parameter
Saluran Air	0.4565	1.857	$M_{hitung} < F_{tabel}$, data berdistribusi Weibull Dua Parameter
Metal	0.2322	1.857	$M_{hitung} < F_{tabel}$, data berdistribusi Weibull Dua Parameter
Bearing	0.1442	1.857	$M_{hitung} < F_{tabel}$, data berdistribusi Weibull Dua Parameter

2.2. Penentuan Parameter Distribusi Waktu Antar Kerusakan

Jika telah terbukti bahwa pola waktu antar kerusakan berdistribusi Weibull Dua parameter, maka selanjutnya ditentukan fungsi distribusi kumulatif Weibull Dua Parameter:

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

Untuk menaksir besarnya parameter skala α dan parameter bentuk β dapat dilakukan dengan metode regresi linier. Untuk setiap t_i ($i = 1, 2, \dots, n$) berlaku hubungan sebagai berikut :

$$Y_i = a + b X_i$$

di mana:

$$Y_i = \ln t_i$$

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

$$a = \ln(\alpha), \text{ dan } b = \frac{1}{\beta}$$

Dengan metode *Least Square*, nilai konstanta a dan b dapat diperoleh sebagai berikut:

$$b = \frac{N \sum_{i=1}^r X_i Y_i - \sum_{i=1}^r X_i \sum_{i=1}^r Y_i}{N \sum_{i=1}^r X_i^2 - \left(\sum_{i=1}^r X_i \right)^2}$$

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

di mana:

$$\beta = \frac{1}{b}, \text{ dan } \alpha = \exp(a).$$

Hasil perhitungan parameter α dan β untuk setiap komponen yaitu:

Tabel 2. Rekapitulasi Estimasi Parameter

Nama Komponen	α	β
Karet Copling	278.8422	1.9926
Stop Kran	407.4235	1.9334
Saluran Air	797.1601	1.9798
Metal	1363.4219	1.9812
Bearing	1372.2763	1.9953

2.3. Penentuan Umur Penggantian dan Jumlah Mesin Cadangan yang Optimal

Perhitungan *uptime*, *downtime* yang diharapkan dan biaya per satuan waktu dilakukan dengan memvariasikan nilai T_{pm} yaitu umur dimana sebuah komponen harus diganti sebagai pencegahan, jumlah komponen cadangan (n) dan waktu perawatan yang dibutuhkan (R). Tujuannya yaitu untuk menentukan umur penggantian dan jumlah mesin cadangan yang optimal. Ada tiga bagian perhitungan dalam model Smith dan Dekker.

2.3.1. Perhitungan *Uptime*, *Downtime* dan Biaya Per Unit Waktu yang Diharapkan Dengan Asumsi $R_{pm} = R$. Untuk menghitung *uptime*, *downtime*, dan biaya per unit waktu yang diharapkan dengan mengasumsikan waktu yang dibutuhkan untuk perawatan pencegahan sama

dengan waktu yang dibutuhkan untuk perawatan perbaikan, digunakan persamaan-persamaan berikut ini:

$$\begin{aligned}
 1. \quad E[\tau_{up}] &\approx \frac{\mu_{T_{pm}}}{F_{T_{pm}}^{*(n-1)}(R)} \\
 2. \quad E\{\tau_{down}\} &\approx \int_0^R F_{T_{pm}}^{*(n-1)}(R-t) dt / F_{T_{pm}}^{*(n-1)}(R) \\
 3. \quad \text{Biaya} &= \frac{(c_c F_{T_{pm}}(T_{pm}) + c_p (1 - F_{T_{pm}}(T_{pm}))) O_{T_{pm}} + c_d E[t_{down}] + O_{T_{pm}} \int_0^{\tilde{}} c_r(t) \{1 - F_{T_{pm}}(t)\} dt}{E[t_{up}] + E[t_{down}]}
 \end{aligned}$$

Perhitungan ini menggunakan alat bantu *software Mathcad 11*.

2.3.2 Perhitungan Perkiraan Uptime, Downtime dan Biaya Per Unit Waktu yang Diharapkan Dengan Asumsi Rpm = Rcm = R. Untuk menghitung *uptime*, *downtime*, dan biaya per unit waktu yang diharapkan dengan mengasumsikan waktu yang dibutuhkan untuk perawatan pencegahan sama dengan waktu yang dibutuhkan untuk perawatan perbaikan, digunakan persamaan-persamaan berikut ini:

$$\begin{aligned}
 1. \quad E[\tau_{up}] &\approx \pi^{n-1} (1 - n(1 - \pi) + \pi) \mu_{T_{pm}} / (1 - \pi) + \mu_{T_{pm}} n \pi^{n-1} (1 - p) \\
 &\quad + p \pi^{n-1} \mu_{T_{pm}} (n + 1 + \frac{p'}{1 - p'}) \\
 2. \quad E[\tau_{down}] &\approx P\{\tau_{up} > R\} \int_0^R F_{T_{pm}}^{*(n-1)}(R-t) dt / F_{T_{pm}}^{*(n-1)}(R) \\
 &\quad + P\{\tau_{up} < R\} \int_0^{R - E[\tau_{down}]} F_{T_{pm}}^{*(n-1)}(R - E[\tau_{down}] - t) dt / F_{T_{pm}}^{*(n-1)}(R - E[\tau_{down}]). \\
 3. \quad \text{Biaya} &= \frac{(c_c F_{T_{pm}}(T_{pm}) + c_p (1 - F_{T_{pm}}(T_{pm}))) O_{T_{pm}} + c_d E[\tau_{down}] + O_{T_{pm}} \int_0^{\tilde{}} c_r(t) \{1 - F_{T_{pm}}(t)\} dt}{E[\tau_{up}] + E[\tau_{down}]}
 \end{aligned}$$

2.3.3. Perhitungan Perkiraan Uptime, Downtime dan Biaya Per Unit Waktu yang Diharapkan Dengan Asumsi Rpm < Rcm. Untuk menghitung *uptime*, *downtime*, dan biaya per unit waktu yang diharapkan dengan mengasumsikan waktu yang dibutuhkan untuk perawatan pencegahan lebih kecil dari waktu yang dibutuhkan untuk perawatan perbaikan, digunakan persamaan-persamaan berikut ini:

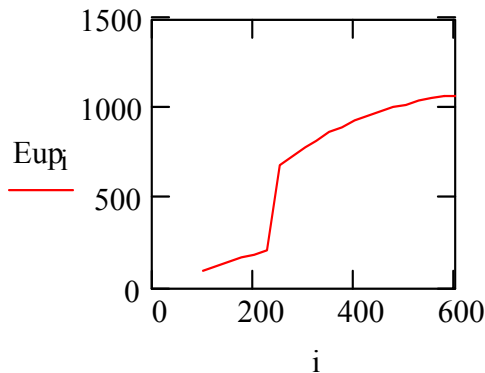
$$\begin{aligned}
 1. \quad E[\tau_{up}] &\approx \beta^{n-1} (1 - n(1 - \beta) + \beta) \mu_{T_{pm}} / (1 - \beta) + \mu_{T_{pm}} n \beta^{n-1} (1 - b) \\
 &\quad + b \beta^{n-1} \mu_{T_{pm}} (n + 1 + b' / (1 - b')) \\
 2. \quad E[\tau_{down}] &\approx b \int_0^{R_{cm}} F(T_{pm}) F_{T_{pm}}^{*(n-1)}(R_{cm} - t) + (1 - F(T_{pm})) F_{T_{pm}}^{*(n-1)}(R_{pm} - t) dt / (1 - b) + (1 - b)
 \end{aligned}$$

$$3. \text{Biaya} = \frac{\int_0^{R-E[\tau_{down}]} F(T_{pm}) F_{T_{pm}}^{*(n-1)} (R-E[\tau_{down}]-t) + (1-F(T_{pm})) F_{T_{pm}}^{*(n-1)} (R_{pm} - E[\tau_{down}]-t) dt / \beta + (c_c F_{T_{pm}}(T_{pm}) + c_p (1-F_{T_{pm}}(T_{pm}))) O_{T_{pm}} + c_d E[\tau_{down}] + O_{T_{pm}} \int_0^{\infty} c_r(t) \{1-F_{T_{pm}}(t)\} dt}{E[\tau_{up}] + E[\tau_{down}]}$$

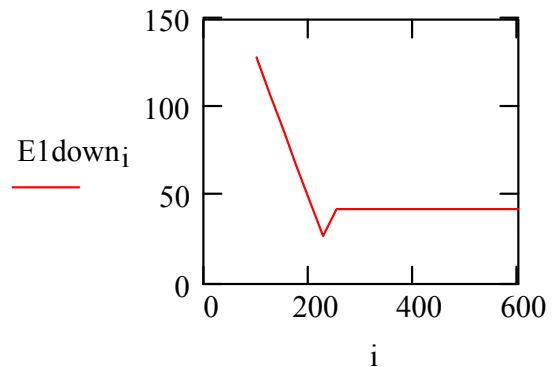
2.4 Analisis Hasil Perhitungan Uptime, Downtime dan Biaya Per Unit Waktu

Hasil perhitungan *uptime*, *downtime* dan biaya ditampilkan dalam bentuk grafik. Grafik yang dihasilkan dari persamaan *uptime* dalam ketiga bagian model ini menunjukkan pola pergerakan yang hampir sama untuk semua komponen, yaitu grafik bergerak dari bawah ke atas dengan peningkatan yang kecil, lalu bergerak meningkat dengan kenaikan yang tajam, dan kembali stabil dengan peningkatan yang kecil (Gambar 2).

Grafik *downtime* memiliki pola pergerakan yaitu dari menurun kemudian meningkat dan kemudian mendatar atau konstan. Hal ini dapat diuraikan sebagai berikut. Ketika T_{pm} kecil, maka *downtime* sebenarnya dapat disebabkan oleh perawatan pencegahan. Ketika T_{pm} meningkat, unit-unit yang semula atau asalnya sesuai dengan T_{pm} yang lama sekarang mungkin akan memiliki umur hidup yang lebih lama. Sebagai konsekuensi, disana mungkin tidak menjadi *downtime*. Jadi sebagaimana nilai T_{pm} meningkat, frekuensi dari *downtime* menurun, dan hanya *downtime* yang disebabkan oleh kegagalan atau kerusakan alami dari $(n - 1)$ unit dalam tingkat yang lebih awal yang tertinggal. Oleh karena itu *expected downtime* meningkat (Gambar 3).

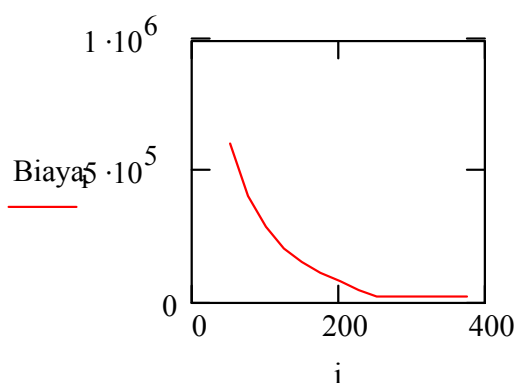


Gambar 2. Grafik Uptime



Gambar 3. Grafik Downtime

Grafik biaya menggambarkan hubungan antara umur penggantian komponen T_{pm} dengan total biaya per unit waktu yang diharapkan, dimana semakin panjang nilai T_{pm} semakin kecil total biaya per unit waktu yang diharapkan. Pada grafik tersebut terlihat bahwa kurva berbentuk seakan-akan cekung atau *quasi-concave* (Gambar 4).



Gambar 4. Grafik Biaya

3. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil pengolahan data dan analisis yaitu:

1. Perilaku model kerusakan komponen mesin yang diteliti di PD. Industri Unit Inkaba mengikuti Distribusi Weibull Dua Parameter dengan laju kerusakan meningkat terhadap waktu. Model Smith dan Dekker yang diterapkan pada PD. Industri Unit Inkaba memberikan perkiraan *uptime* dan *downtime* sistem sehingga dapat diperoleh perkiraan yang baik untuk rata-rata biaya operasi dalam jangka waktu panjang. Model Smith dan Dekker juga memberikan hasil keluaran yang relatif sama untuk persamaan pada ketiga bagian dalam model.
2. Jumlah komponen cadangan (*n*) dan umur penggantian komponen mesin (T_{pm}) yang optimal untuk mendapatkan perawatan pencegahan sehingga biaya yang diharapkan per unit waktu minimal yaitu:

Tabel 3. Nilai *n* dan T_{pm} Optimal

Nama Komponen	<i>n</i> (Unit)	T_{pm} (Hari)
Karet Copling	5	250
Stop Kran	4	250
Saluran Air	3	480
Metal	4	850
Bearing	3	900

3. Dengan bertambahnya jumlah komponen cadangan maka *uptime* sistem yang dihasilkan semakin meningkat sedangkan *downtime* sistem yang dihasilkan semakin menurun.

Tabel 4. Komponen Karet Copling

<i>n</i> (Unit)	T_{pm} (Hari)	<i>Uptime</i> (Hari)	<i>Downtime</i> (Hari)
3	250	1341	61.011
4	250	7434	45.32
5	250	54950	36.179

Tabel 5. Komponen Stop Kran

n (Unit)	T_{pm} (Hari)	Uptime (Hari)	Downtime (Hari)
2	250	683.957	91.853
4	250	39520	41.756
6	250	7611000	27.192

Tabel 6 . Komponen Saluran Air

n (Unit)	T_{pm} (Hari)	Uptime (Hari)	Downtime (Hari)
1	480	426.959	477
2	480	1406	171.711
3	480	9266	106.417

Tabel 7. Komponen Metal

n (Unit)	T_{pm} (Hari)	Uptime (Hari)	Downtime (Hari)
4	850	131900	139.231
8	850	1E+10	67.209

Tabel 8. Komponen Bearing

n (Unit)	T_{pm} (Hari)	Uptime (Hari)	Downtime (Hari)
1	900	785.666	868
2	900	2379	313.176
3	900	14400	194.537

DAFTAR PUSTAKA

Corder, A.S., 1976. *Maintenance Management Techniques*, McGraw-Hill.

Ebeling, C. E., 1996. *An Introduction to: Reliability and Maintainability Engineering*, Mc.Graw-Hill, Singapore.

Gertsbagh, I.B., 1989. *Statistical Reliability Theory*, Marcell Dekker Inc., New York.

Grosh, D. L., 1989. *A Primer of Reliability Theory*, John Wiley & Sons, Inc., Canada.

Jardine, A.K.S., 1973. *Maintenance, Replacement, and Reliability Inggris*, Pitman Publishing, London.

Kapur, K.C., L.C. Lamberson, 1989. *Reliability In Engineering Design*, John Wiley & Sons, Inc., New York.

Law, M. A., W. D. Kelton, 2000. *Simulation Modeling and Analysis*, Mc. Graw-Hill, Singapore.

Setiawan, A., 1998. *Manajemen Perawatan*, Bandung.

Smith, M.A.J., R. Dekker, 1997, "Preventive maintenance in a 1 out of n system: The uptime, downtime, and costs", *European Journal of Operations Research* 99, pp. 565-583.

Sukeri, 1998. "Penentuan Selang Perawatan Pencegahan dan Jumlah Mesin Cadangan yang Optimal Bagi Sistem Mesin Tunggal yang Didukung oleh n-1 Buah Mesin Cadangan. Studi kasus di PT INTI (Persero)", *Tugas Akhir Jurusan Teknik Industri*, ITENAS, Bandung.

Tobias, A.P., C.D. Trindode, 1995. *Applied Reliability*, Chapman & Hall.