

# PENENTUAN KOMBINASI WAKTU PERAWATAN PREVENTIF DAN JUMLAH PERSEDIAAN KOMPONEN GUNA MENINGKATKAN PELUANG SUKSES MESIN DALAM MEMENUHI TARGET PRODUKSI

Imam Sodikin, Muhammad Yusuf  
Jurusan Teknik Industri , Fakultas Teknologi Industri  
Institut Sains & Teknologi AKPRIND , Yogyakarta  
Email: [imam@akprind.ac.id](mailto:imam@akprind.ac.id), [yusuf@akprind.ac.id](mailto:yusuf@akprind.ac.id)

## ABSTRACT

*PT. SSR is a company engaged in infrastructure and production based on orders. Its main product is a mixture of hot asphalt. One company's machine is a machine used Asphalt Mixing Plant (AMP). AMP machines are production machines which produce a mixture of hot asphalt. AMP engine consists of various components that are vital, so that if one component is damaged, it will cause the system fails to perform its functions.*

*The purpose of this study is to determine the optimal preventive maintenance time, minimize the cost of maintenance and repair of engine components, determine the optimal number of reserve component, and determine the chances of a successful engine in its mission to meet production targets.*

*The results obtained for the bearing components (2221 C3K "NSK"), namely the increasing span of preventive maintenance (Tpm), then the resulting system uptime while decreasing system downtime resulting fixed / constant and the cost per unit of time is increasing. The increasing number of reserve component (n), then the resulting system uptime while increasing system downtime resulting fixed / constant and the cost per unit of time is decreasing. Preventive maintenance time, based on the age of the optimal replacement of engine components is 105.88 hours. Reserves the optimal number of components, so that the expected cost per unit of time is a minimum of 4 units. Increasingly short time span of preventive care and the increasing number of reserve component, then the chances of success in its mission systems to achieve the production target will increase.*

*Key words: Preventive, Maintenance, Inventory, Component, Opportunities Success*

## INTISARI

PT. SSR adalah perusahaan yang bergerak di bidang infrastruktur dan memproduksi berdasarkan pesanan. Produk utamanya adalah campuran aspal panas. Salah satu mesin yang digunakan perusahaan adalah mesin *Asphalt Mixing Plant (AMP)*. Mesin AMP merupakan mesin produksi yang menghasilkan produk berupa campuran aspal panas. Mesin AMP terdiri dari berbagai komponen yang vital, sehingga bila ada satu komponen yang rusak, maka akan mengakibatkan sistem itu gagal menjalankan fungsinya.

Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan waktu perawatan pencegahan yang optimal, meminimasi biaya perawatan dan perbaikan komponen mesin, menentukan jumlah cadangan komponen yang optimal, dan menentukan peluang sukses mesin dalam menjalankan misinya memenuhi target produksi.

Hasil yang diperoleh untuk komponen bearing (2221 C3K "NSK") yaitu semakin bertambahnya rentang waktu perawatan pencegahan (Tpm), maka *uptime* sistem yang dihasilkan semakin menurun sedangkan *downtime* sistem yang dihasilkan tetap/konstan dan biaya per unit waktu semakin meningkat. Semakin bertambahnya jumlah komponen cadangan (n), maka *uptime* sistem yang dihasilkan semakin meningkat sedangkan *downtime* sistem yang dihasilkan tetap/konstan dan biaya per unit waktu semakin menurun. Waktu perawatan pencegahan, berdasarkan umur penggantian komponen mesin yang optimal adalah 105,88 jam. Jumlah komponen cadangan yang optimal, agar biaya yang diharapkan per unit waktu minimal adalah 4 unit. Semakin singkatnya rentang waktu perawatan pencegahan dan semakin bertambahnya jumlah komponen cadangan, maka peluang sukses sistem dalam menjalankan misinya untuk mencapai target produksi akan semakin meningkat.

Kata kunci: Preventif, Perawatan, Persediaan, Komponen, Peluang Sukses

## PENDAHULUAN

Dunia industri saat ini telah mengalami kemajuan pesat dan persaingan ketat. Strategi *maintenance* yang dimiliki suatu perusahaan merupakan salah satu daya saing perusahaan yang digunakan untuk memenangi persaingan antar perusahaan. Saat ini departemen *maintenance* merupakan salah satu elemen penting yang dimiliki oleh suatu perusahaan dalam meningkatkan profitabilitas perusahaan. Jika perusahaan melakukan perawatan sebelum terjadinya kerusakan atau perawatan pencegahan, maka biaya yang dihasilkan akan lebih kecil jika dibandingkan dengan perawatan perbaikan sehingga *uptime* yang diharapkan dari sistem juga akan meningkat dan biaya-biaya operasi yang mungkin terjadi dapat dikendalikan. Perawatan mesin yang mempunyai tingkat kekritisan yang tinggi memerlukan perhatian khusus karena mesin sangat berpengaruh terhadap kelancaran produksi (Sodikin, 2008, 2010).

PT. Suradi Sejahtera Raya adalah sebuah perusahaan yang memproduksi berdasarkan permintaan. Produk utamanya adalah aspal hotmix. Salah satu mesin yang digunakan perusahaan adalah mesin *Asphalt Mixing Plant* (AMP). Mesin AMP merupakan mesin produksi yang menghasilkan produk berupa campuran aspal panas. Waktu *setup* yang dibutuhkan mesin AMP agar dapat dioperasikan dalam kegiatan produksi adalah 30 jam. Mesin AMP terdiri dari beberapa komponen vital, bila ada yang rusak, maka sistem akan gagal menjalankan fungsinya.

Kerusakan komponen tidak dapat diketahui secara pasti seiring dengan berjalannya waktu operasi dalam pencapaian target produksi. Terlebih untuk perusahaan yang proses produksinya berdasarkan permintaan, apabila terjadi kerusakan, maka akan mendatangkan kerugian yang sangat besar. Untuk itu tidak bisa dipungkiri perlunya penentuan perawatan dan tingkat kesuksesan proses operasi mesin, serta pencegahan kegagalan dalam proses produksi. Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan waktu perawatan pencegahan yang optimal, meminimasi biaya perawatan dan perbaikan komponen mesin, menentukan jumlah cadangan komponen yang optimal, dan menentukan peluang sukses mesin dalam menjalankan misinya memenuhi target produksi.

### 1. *Total Productive Maintenance* (TPM)

TPM merupakan salah satu konsep inovasi dari Jepang (Nakajima, 1988). TPM atau pemeliharaan total produktif dapat memadukan manajemen kualitas total dengan pandangan strategis pemeliharaan dan sisi perancangan proses dan peralatan untuk pemeliharaan pencegahan (Octavia, 2001). Pemeliharaan produktif total menjadi kunci mengurangi variabilitas dan meningkatkan keandalan (Setiawan, 1998). Pemikiran TPM bukan pada perbaikan mesin, tetapi pada pencegahan kerusakan mesin atau peralatan untuk meningkatkan umur mesin atau peralatan (Gasperz, 2007). Pada perkembangannya TPM berfokus pada perawatan. Tujuan dari perawatan adalah untuk menjaga serta mempertahankan kelangsungan operasional dan kinerja sistem agar produksi dapat berjalan tanpa hambatan (Mardianto, 2010). Jika suatu sistem mengalami kerusakan maka akan memerlukan perawatan perbaikan.

### 2. Model Perawatan Smith & Dekker

Smith M.A.J. dan R. Dekker (1997) 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 diterapkan pada komponen-komponen yang dapat diganti. Selain itu model ini menggunakan distribusi kerusakan yang meningkat terhadap waktu. Pendekatan yang dilakukan yaitu waktu yang dibutuhkan untuk perawatan pencegahan sama dengan waktu yang dibutuhkan untuk perawatan perbaikan. Kemudian pendekatan berikutnya yaitu waktu yang dibutuhkan untuk perawatan pencegahan tidak sama dengan waktu yang dibutuhkan untuk perawatan perbaikan, dimana waktu perawatan pencegahan lebih kecil dibandingkan waktu perawatan perbaikan. Dengan mengetahui perkiraan *uptime* dan *downtime* sistem, dapat diperoleh perkiraan yang baik untuk rata-rata biaya operasi dalam jangka waktu panjang. Pengolahan data terdiri dari pengujian fungsi distribusi waktu antar kerusakan dengan uji statistik, penentuan parameter distribusi waktu antar kerusakan serta penentuan *uptime* dan *downtime* dan juga biaya per satuan waktu yang diakibatkan dari kerusakan saat ini dengan menggunakan model *Smith and Dekker* untuk menentukan jumlah cadangan dan waktu penggantian

yang optimal. Model Perawatan pencegahan yang telah ada dan dikembangkan oleh R. Dekker ditujukan dapat mempengaruhi terhadap keluarnya biaya yang dibutuhkan akan menjadi lebih sedikit. Hal tersebut dapat terjadi karena perawatan pencegahan memerlukan waktu yang lebih kecil jika dibandingkan dengan perawatan perbaikan sehingga *uptime* yang diharapkan dari sistem juga meningkat. Di dalam sistem produksi suatu perusahaan didukung oleh banyak elemen penunjang, salah satunya adalah komponen kritis berupa peralatan atau mesin. Tanpa adanya peralatan proses produksi tidak akan berjalan. Selain itu jika peralatan ini mengalami kerusakan, proses produksi juga tidak bisa berjalan. Sehingga peralatan dan komponennya menjadi faktor yang bersifat kritis dalam proses produksi.

### 3. Fungsi Distribusi Kerusakan

Beberapa fungsi dapat digunakan dan sesuai untuk menguraikan distribusi kerusakan, seperti fungsi kepadatan kemungkinan  $f(t)$ , fungsi kemungkinan kumulatif  $F(t)$ , dan fungsi laju kerusakan  $\lambda(t)$ . Hubungan fungsi kepadatan kemungkinan  $f(t)$ , fungsi kemungkinan kumulatif  $F(t)$  dan fungsi laju kerusakan  $\lambda(t)$  adalah:

$$F(t) = \int_0^t f(t) dt \dots\dots\dots (1)$$

$$R(t) = 1 - F(t) = \exp \left[ - \int_0^t \lambda(t) dt \right] \dots\dots\dots (2)$$

$$R(t) = e^{-\lambda t} \dots\dots\dots (3)$$

$$\lambda = \frac{f(t)}{R(t)} \dots\dots\dots (4)$$

Fungsi distribusi yang sering digunakan untuk menganalisa kerusakan atau kegagalan karena *fatigue* dari material serta umur suatu alat antara lain distribusi Weibull (Walpole, 1986). Bentuk fungsi distribusi, fungsi keandalan, fungsi Hazard, rata-rata dan variansi dari distribusi Weibull adalah sebagai berikut:

a. Fungsi densitas  
 $f(\tau) = \lambda \beta (\lambda \tau)^{\beta-1} e^{-(\lambda \tau)^\beta} \dots\dots\dots (5)$

b. Fungsi distribusi  
 $F(\tau) = 1 - e^{-(\lambda \tau)^\beta} \dots\dots\dots (6)$

c. Fungsi keandalan  
 $\bar{F}(\tau) = e^{-(\lambda \tau)^\beta} \dots\dots\dots (7)$

d. Fungsi laju kerusakan  
 $h(\tau) = \lambda \beta (\lambda \tau)^{\beta-1} \dots\dots\dots (8)$

### e. Rata-rata dan variansi

$$\mu = \frac{\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)}{\lambda^{1/\beta}} \dots\dots\dots (9)$$

$$\sigma^2 = \lambda^{-2/\beta} \left[ \Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right) - \Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right)^2 \right] \dots\dots (10)$$

### 4. Uji Kecocokan Distribusi Waktu Antar Kerusakan

Untuk menguji apakah distribusi waktu antar kerusakan yang diperoleh mengikuti distribusi *Weibull*, maka dilakukan uji hipotesa. Untuk menguji kecocokan ada beberapa cara yang dapat digunakan. Salah satunya adalah dengan metode *chi-square*/Kai-kwadrat ( $\chi^2 = chi square$ ). Distribusi *chi-square* sangat berguna sebagai kriteria untuk pengujian hipotesa mengenai variansi dan tepatnya suatu fungsi jika dipergunakan untuk data hasil observasi. Uji Distribusi *Weibull* 2 parameter dapat dilakukan sebagai berikut (Wicaksono, 2006):

$H_0$ : Data berdistribusi *Weibull*

$H_1$ : Data tidak berdistribusi *Weibull*

Terima  $H_0$  jika  $\chi^2 > \chi^2_{(\alpha, k-c)}$  dengan  $\chi^2$

$$= \sum_{i=1}^k \frac{(o_i - e_i)^2}{e_i}$$

Untuk uji ini taraf signifikansi yang digunakan adalah  $\alpha = 0,05$  atau tingkat kepercayaan 95%. Derajat kebebasan  $k-c$ .

Keterangan:

$k$  = Jumlah sub interval

$c$  = Jumlah parameter distribusi yang diestimasi + 1

Uji hipotesa ( $H_0$ ) ini menyatakan bahwa pola waktu antar kerusakan mengikuti distribusi *Weibull Dua Parameter*. Distribusi *Weibull* sendiri dapat dimanfaatkan dalam mengoptimasi program *preventive maintenance* (Gertsbagh, 1989).

### 5. Penentuan Parameter Distribusi Waktu Antar Kerusakan

Jika telah terbukti bahwa pola waktu antar kerusakan berdistribusi *Weibull* dua parameter:

$$F(t) = 1 - \exp \left( - \frac{t}{a} \right)^\beta \dots\dots\dots (11)$$

Untuk menaksir besarnya parameter skala  $\alpha$  dan parameter bentuk  $\beta$  dapat dilakukan dengan metode regresi linier. Analisis regresi

digunakan untuk menunjukkan pengaruh antara variabel yang satu dengan variabel yang lain. Analisis regresi merupakan salah satu teknik statistik yang digunakan untuk membuat model dalam memprediksi variabel-variabel tersebut. Bentuk umum persamaan linier sederhana yang menunjukkan hubungan antara dua variabel untuk setiap  $t_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) berlaku hubungan sebagai berikut (Algifari, 2000):

$$Y = a + b X \dots\dots\dots (12)$$

keterangan:

Y = peubah tak bebas

X = peubah bebas

a = konstanta

b = kemiringan

$$a = \ln(\alpha), \text{ dan } b = \frac{1}{\beta} \dots\dots\dots (13)$$

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

$$b = \frac{N \sum_{i=1}^r X_i Y_i - \sum_{i=1}^r X_i \sum_{i=1}^r Y_i}{N \sum_{i=1}^r X_i^2 - \left( \sum_{i=1}^r X_i \right)^2} \dots\dots\dots (14)$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^r Y_i}{N} - b \frac{\sum_{i=1}^r X_i}{N} \dots\dots\dots (15)$$

Maka:

$$\beta = \frac{1}{b}, \text{ dan } \alpha = \exp(a) \dots\dots (16)$$

6. Penentuan Umur Penggantian dan Jumlah Mesin Cadangan yang Optimal  
Perhitungan *uptime* dan *downtime* yang diharapkan dan biaya persatuan waktu dilakukan dengan memvariasikan nilai Tpm yaitu di mana sebuah komponen harus diganti sebagai pencegahan, jumlah komponen cadangan (n) dan waktu perawatan yang dibutuhkan untuk perbaikan (R). Tujuan dilakukan ketiga perhitungan tersebut yaitu untuk menentukan umur penggantian dan jumlah mesin cadangan yang optimal. Ada tiga bagian perhitungan dalam model *Smith and Dekker* yaitu untuk menentukan *uptime*, *downtime* dan biaya per unit waktu (Adianto, 2005).

a. Perhitungan *uptime*, *downtime* dan biaya per unit waktu yang diharapkan dengan asumsi  $R_{pm} = R$ .

Bagian pertama ini untuk menghitung *uptime*, *downtime* dan biaya yang dikeluarkan dengan mengasumsikan waktu yang dibutuhkan untuk perawatan pencegahan sama dengan waktu yang

dibutuhkan untuk perawatan perbaikan, digunakan persamaan-persamaan berikut ini:

$$E[\tau_{up}] = \frac{\mu_{Tpm}}{F_{Tpm}^{*(n-1)}(R)} \dots\dots\dots (17)$$

$$E\{\tau_{down}\} = \int_0^R F_{Tpm}^{*(n-1)}(R-t) dt / F_{Tpm}^{*(n-1)}(R) \dots\dots\dots (18)$$

$$(c_c F_{Tpm}(T_{pm}) + c_p(1 - F_{Tpm}(T_{pm}))) O_{Tpm} + c_d E[\tau_{down}] + O_{Tpm} \int_0^R c_r(t) \{1 - F_{Tpm}(t)\} dt / \{E[\tau_{up}] + E[\tau_{down}]\} \dots\dots\dots (19)$$

b. Perhitungan perkiraan *uptime*, *downtime* dan biaya per unit waktu yang diharapkan dengan asumsi  $R_{pm} = R_{cm} = R$

Untuk yang kedua menghitung *uptime*, *downtime*, dan biaya per unit waktu yang diharapkan dengan mengasumsikan waktu yang dibutuhkan untuk perawatan pencegahan lebih kecil dengan waktu yang dibutuhkan untuk perawatan perbaikan, digunakan persamaan-persamaan berikut ini:

$$E[\tau_{up}] = \alpha^{n-1} (1 - n(1 - \alpha) + \alpha) \mu_{Tpm} / (1 - \alpha) + \mu_{Tpm} n \alpha^{n-1} (1 - p) + \mu_{Tpm} (n + 1 + \frac{p'}{1 - p'}) \dots\dots (20)$$

$$E[\tau_{down}] = P\{\tau_{up} > R\} \int_0^R F_{Tpm}^{*(n-1)}(R-t) dt / F_{Tpm}^{*(n-1)}(R) + P\{\tau_{up} < R\} R^{-E} \int_0^{\tau_{down}} F_{Tpm}^{*(n-1)}(R - E[\tau_{down}] - t) dt / F_{Tpm}^{*(n-1)}(R - E[\tau_{down}]) \dots\dots\dots (21)$$

$$c_c F_{Tpm}(T_{pm}) + c_p(1 - F_{Tpm}(T_{pm})) O_{Tpm} + c_d E[\tau_{down}] + O_{Tpm} \int_0^R c_r(t) \{1 - F_{Tpm}(t)\} dt / \{E[\tau_{up}] + E[\tau_{down}]\} \dots\dots\dots (22)$$

c. Analisis hasil perhitungan *uptime*, *downtime* dan biaya per unit waktu untuk umur penggantian komponen mesin

Ketiga perhitungan dari asumsi pertama digunakan untuk dibandingkan dengan hasil pada bagian asumsi kedua. Dari hasil perhitungan kedua asumsi dapat dianalisis untuk diperbandingkan dengan situasi dan kondisi yang ada di perusahaan pada saat ini mengenai pemakaian waktu untuk melakukan perawatan terhadap mesin serta komponennya.

7. Kemungkinan Sukses dengan Pertimbangan Ketersediaan Suku Cadang  
Berbagai variasi kombinasi terhadap beroperasinya komponen dan spare dapat diasumsikan, dan faktor-faktor kesuksesan sistem dapat ditentukan dengan menggunakan rumus umum Poisson sebagai berikut:

$$f(x) = \frac{(\lambda t)^x e^{-\lambda t}}{x!} \dots\dots\dots (23)$$

Persamaan di atas digunakan untuk menentukan probabilitas terhadap kejadian kerusakan x, jika suatu item ditempatkan dalam suatu operasi untuk jam t, dan tiap kerusakan dikoreksi (melalui penggantian item) seperti kejadiannya.

**PEMBAHASAN**

Salah satu unit yang kritis pada proses pembuatan campuran aspal panas (*hotmix*) adalah Unit Pengering (*dryer*). Pada unit tersebut, komponen yang mengalami kerusakan dengan frekuensi terbanyak selama periode pengamatan adalah bearing (2221 C3K “NSK”) sehingga dipilih sebagai komponen kritis. Data yang dikumpulkan dari unit dan komponen tersebut meliputi waktu kejadian kerusakan, jenis kerusakan, lamanya waktu perbaikan dan perawatan, waktu operasional, serta waktu antar kerusakan. Adapun langkah-langkah penyelesaian dilakukan melalui tahapan sebagai berikut:

1. Penentuan distribusi waktu antar kerusakan komponen bearing (2221 C3K “NSK”)

Pengujian dilakukan dengan menggunakan software Reliasoft Weibull++6, dengan hasil laju kerusakan bearing (2221 C3K “NSK”) berdistribusi Weibull 2. Perhitungan dua parameter pada distribusi Weibull 2 menghasilkan nilai  $\beta = 1.85730663$  dan  $\eta = 21947.5181$ .

2. Perhitungan faktor-faktor reliabilitas pada komponen bearing (2221 C3K “NSK”)

Pengujian dilakukan dengan menggunakan software Reliasoft Weibull++6 pada data waktu perbaikan, dengan hasil data berdistribusi Lognormal: nilai  $s = 0,0310738$ , dan nilai  $t_{med} = 5.78800$ . Pada perhitungan ini diperoleh nilai fungsi kepadatan probabilitas, fungsi kepadatan kumulatif, fungsi keandalan, dan fungsi laju kerusakan.

3. Perhitungan faktor-faktor maintainability

Hasil dari perhitungan faktor maintainability meliputi waktu rata-rata antar perawatan = 6352,727 menit dan waktu rata-rata antar kerusakan = 19502,3 menit.

4. Perhitungan nilai availability

Hasil dari perhitungan parameter availability dapat dilihat pada tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Parameter Availability

No.	Nama Komponen	Ai	Aa	Ao
1.	Bearing (2221 C3K “NSK”)	0,9835	0,9654	0,9623

5. Uji kecocokan distribusi waktu antar kerusakan

Uji distribusi Weibull 2 parameter untuk komponen bearing menggunakan taraf signifikansi yang digunakan adalah  $\alpha = 0,05$  atau tingkat kepercayaan 95%. Derajat kebebasan *k-c*. (Wicaksono, 2006). Hasil yang diperoleh  $\chi^2 > \chi^2_{(\alpha, k-c)} = 14.180,3 > 15,507$  maka  $H_0$  diterima dan disimpulkan data mengikuti distribusi Weibull 2 parameter.

6. Penentuan parameter distribusi waktu antar kerusakan

Setelah terbukti bahwa pola waktu antar kerusakan berdistribusi Weibull dua parameter, selanjutnya menentukan distribusi kumulatif Weibull 2 parameter dengan menggunakan persamaan (11). Untuk Menaksir besarnya parameter skala  $\alpha$  dan parameter bentuk  $\beta$  dilakukan dengan metode regresi linier dengan memanfaatkan persamaan (12) s.d (16). Hasil dari penentuan persamaan regresi linier untuk data komponen bearing (2221 C3K “NSK”) melalui persamaan (14) diperoleh nilai  $b = 1,00064$ , dan dengan persamaan (15) diperoleh nilai  $a = 5,344817$ . Hasil perhitungan parameter skala  $\alpha$  dan parameter bentuk  $\beta$  untuk komponen bearing melalui penggunaan persamaan (16) adalah  $\alpha = 209,5194$  dan  $\beta = 0,999936$ .

7. Penentuan fungsi distribusi kumulatif Tpm pada komponen bearing

Tpm atau t adalah umur yang dicapai sebuah unit yang beroperasi, dan dalam hal ini nilai Tpm yang disimulasikan adalah rentang waktu perawatan preventif dari *Mean Time Between Maintenance* (MTBM) sampai *Mean Time Between Failure* (MTBF) yaitu: 105,88 jam s.d 325,04 jam.

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

Melalui hasil rekapitulasi parameter skala  $\alpha$  dan parameter bentuk  $\beta$ , maka dilakukan perhitungan untuk mencari

distribusi kumulatif umur hidup komponen ( $F_{Tpm}$ ) sebagai berikut (untuk contoh perhitungan  $t = 325,04$  jam):

$$F_{Tpm} = 1 - \exp\left(-\frac{325,04}{209,5194}\right)^{0,999936}$$

$$= 0,78804 \approx 0,79.$$

$$R_{Tpm} = 1 - F_{Tpm} = 1 - 0,79 = 0,21$$

Perhitungan yang sama juga dilakukan untuk nilai  $t = 105,88$  jam,  $140,43$  jam,  $174,97$  jam,  $209,52$  jam,  $248,03$  jam, dan  $286,53$  jam. Hasil selengkapnya dari perhitungan itu dapat dilihat pada tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Nilai Parameter  $F_{Tpm}$  dan  $R_{Tpm}$

Tpm (Jam)	Parameter	
	$F_{(Tpm)}$	$R_{(Tpm)}$
105,88	0,40	0,60
140,43	0,49	0,51
174,97	0,57	0,43
209,52	0,63	0,37
248,03	0,69	0,31
286,53	0,75	0,25
325,04	0,79	0,21

#### 8. Penentuan umur penggantian dan jumlah mesin cadangan yang optimal

Perhitungan *uptime*, *downtime* yang diharapkan dan biaya per satuan waktu dilakukan dengan memvariasikan nilai Tpm yaitu umur untuk penggantian suatu komponen sebagai upaya pencegahan, jumlah komponen cadangan (n) dan waktu perawatan yang dibutuhkan (R). Tujuannya yaitu untuk menentukan umur penggantian

dan jumlah mesin cadangan yang optimal. Dalam metode *Smith and Dekker* ini, ada 2 asumsi yang akan digunakan melalui tiga perhitungan.

a. Perhitungan *uptime*, *downtime* dan biaya perunit waktu yang diharapkan dengan Asumsi Rpm = R.

Untuk menghitung *uptime*, *downtime* dan biaya per unit waktu yang diharapkan dengan mengasumsikan waktu yang dibutuhkan untuk perawatan pencegahan (preventif) sama dengan waktu yang dibutuhkan untuk perbaikan (*repair*), digunakan persamaan (17) s.d (19). Untuk contoh perhitungan pada  $t = 325,04$  jam dan jumlah cadangan = 2 unit:

$$1) E_{[t_{up}]} = \frac{325,04}{0,79^{*(2-1)} (5,4)}$$

$$= 96,92729 \approx 96,9.$$

$$2) E_{[t_{down}]} = \int_0^{5,4} 0,79^{*(2-1)} (5,4 - 1) dt / 0,79^{*(2-1)} (5,4)$$

$$= 4,4.$$

$$3) \text{Biaya} = \{(46.980 \times 0,79(325,04) + 26.100(1 - 0,79(325,04)))1 + 112.500 \times 4,4 + 1 \int_0^{325,04} 1.868.580(1 - 0,79(1)) dt\} / \{96,9 + 4,4\}$$

$$= 1.328.426,577 \approx 1.328.427.$$

Perhitungan yang sama juga dilakukan untuk nilai  $t = 105,88$  jam,  $140,43$  jam,  $174,97$  jam,  $209,52$  jam,  $248,03$  jam, dan  $286,53$  jam dengan jumlah cadangan (n) = 2, 3 dan 4. Hasil selengkapnya dari perhitungan itu dapat dilihat pada tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Rekapitulasi *Uptime*, *Downtime* dan Biaya untuk Asumsi I (Rpm = R)

Tpm (Jam)	n = 2 unit			n = 3 unit			n = 4 unit		
	UT	DT	C	UT	DT	C	UT	DT	C
105,88	124,6	4,4	936.168	5.030,6	4,4	23.984	1.290.698	4,4	93,6
140,43	109,0	4,4	1.200.863	1.915,6	4,4	70.933	141.111,5	4,4	965,1
174,97	101,1	4,4	1.369.214	983,8	4,4	146.158	29.868,4	4,4	4.834,8
209,52	97,1	4,4	1.451.320	608,2	4,4	240.481	9.532,9	4,4	15.446
248,03	95,4	4,4	1.462.844	411,5	4,4	352.686	3.687,7	4,4	39.551
286,53	95,5	4,4	1.414.592	309,7	4,4	450.110	1.807,2	4,4	78.033
325,04	96,9	4,4	1.328.427	251,3	4,4	526.350	1.049,5	4,4	127.727

Pada tabel 3 di atas dapat dilihat bahwa semakin bertambahnya rentang waktu perawatan pencegahan (Tpm), maka *uptime* sistem yang dihasilkan semakin menurun sedangkan *downtime* sistem yang dihasilkan tetap/konstan dan biaya per unit waktu semakin meningkat. Semakin bertambahnya jumlah komponen cadangan (n), maka *uptime* sistem yang dihasilkan semakin meningkat sedangkan *downtime* sistem yang

dihasilkan tetap/konstan dan biaya per unit waktu dapat diminimalkan.

b. 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 (preventif) sama dengan waktu yang dibutuhkan untuk perawatan perbaikan

(korektif), digunakan persamaan (20) s.d (22). Untuk contoh perhitungan pada  $t = 325,04$  jam dan jumlah cadangan = 2 unit:

$$1) E_{[up]} = 209,5194^{2-1}(1 - 2(1 - 209,5194) + 209,5194)325,04 / (1 - 209,5194) + 325,04 \cdot 209,5194^{2-1}(1 - 0,79) + 0,79 \cdot 209,5194^{2-1} \left( 325,04 \left( 2 + 1 + \frac{0,21}{1 - 0,21} \right) \right) = 209,3997843 \approx 209,4.$$

$$2) E_{[down]} = P\{8,7 > 5,4\} \int_0^{5,4} 0,79^{*(2-1)} (5,4 - 1) dt / 0,79^{*(2-1)} (5,4) + P\{8,7 < 9\} \int_0^{9-4,4} 0,79^{*(2-1)} (9 - 4,4 - 1) dt /$$

$$0,79^{*(2-1)} (9 - 4,4) = 4,4 + 3,6 = 8$$

$$3) \text{Biaya} = \{(46.980 \times 0,79(325,04) + 26.100(1 - 0,79(325,04))\} + 112.500 \times 4,4 + 1 \int_0^{325,04} 1.868.580(1)\{1 - 0,79(1)\} dt / \{209,4 + 8\} = 621.025,7649 \approx 621.026.$$

Perhitungan yang sama juga dilakukan untuk nilai  $t = 105,88$  jam,  $140,43$  jam,  $174,97$  jam,  $209,52$  jam,  $248,03$  jam, dan  $286,53$  jam dengan jumlah cadangan ( $n = 2, 3$  dan  $4$ ). Hasil selengkapnya dari perhitungan itu dapat dilihat pada tabel 4 berikut ini.

Tabel 4. Rekapitulasi Uptime, Downtime, Biaya Asumsi II ( $R_{pm} = R_{cm} = R$ )

Tpm (Jam)	n = 2 unit			n = 3 unit			n = 4 unit		
	UT	DT	C	UT	DT	C	UT	DT	C
105,88	209,8	8	556.190	209,0	8	558.296	208,9	8	558.560
140,43	209,7	8	627.521	209,0	8	629.430	208,9	8	629.725
174,97	209,6	8	665.645	209,0	8	667.371	208,9	8	667.683
209,52	209,5	8	679.106	209,0	8	680.662	208,9	8	680.979
248,03	209,5	8	673.169	209,0	8	674.552	208,9	8	674.866
286,53	209,4	8	652.019	209,0	8	653.245	208,9	8	653.549
325,04	209,4	8	621.026	209,0	8	622.112	208,9	8	622.401

Pada tabel 4 di atas dapat dilihat bahwa semakin bertambahnya rentang waktu perawatan pencegahan (Tpm), maka *uptime* sistem yang dihasilkan menurun tapi tidak signifikan pada  $n = 2$  dan tetap/konstan pada  $n = 3$  dan  $4$ , sedangkan *downtime* sistem yang dihasilkan tetap/konstan dan biaya per unit waktunya berfluktuatif. Semakin bertambahnya jumlah komponen cadangan ( $n$ ), maka *uptime* sistem yang dihasilkan semakin menurun sedangkan *downtime* sistem yang dihasilkan tetap/konstan dan biaya per unit waktu meningkat. Berdasarkan hasil tersebut, maka asumsi II tidak dipilih karena tidak menggambarkan sistem yang sebenarnya. Selanjutnya dalam perhitungan penentuan peluang sukses mesin digunakan hasil perhitungan asumsi I.

9. Perhitungan peluang sukses mesin dalam menjalankan misinya

Perhitungan kemungkinan sukses dengan pertimbangan ketersediaan suku cadang

(spares) dari komponen bearing (2221 C3K "NSK") melalui perbandingan banyaknya suku cadang sebesar 2, 3, dan 4 unit. Persamaan yang digunakan dalam perhitungan ini adalah persamaan (23), yaitu formulasi untuk sistem tunggal dengan  $n$  jumlah cadangan. Untuk contoh perhitungan pada  $t = 325,04$  jam, jumlah cadangan = 2 unit,  $R(t) = 0,21$  dan  $\lambda t = 1,560648$  yaitu:

$$P = e^{-\lambda t} + (\lambda t) e^{-\lambda t} + \frac{(\lambda t)^2 e^{-\lambda t}}{2!} = 0,21 + 0,327736 + 0,25574 = 0,793476 \approx 0,793.$$

Perhitungan yang sama juga dilakukan untuk nilai  $t = 105,88$  jam,  $140,43$  jam,  $174,97$  jam,  $209,52$  jam,  $248,03$  jam, dan  $286,53$  jam dengan jumlah cadangan ( $n = 2, 3$  dan  $4$ ). Hasil selengkapnya dari perhitungan itu dapat dilihat pada tabel 5 di bawah ini.

Tabel 5. Perbandingan Tpm dan n Terhadap Peluang Sukses Mesin

Tpm (Jam)	Peluang Sukses Mesin		
	n = 2 unit	n = 3 unit	n = 4 unit
105,88	0,984	0,997	0,999
140,43	0,969	0,995	0,999
174,97	0,946	0,989	0,998
209,52	0,921	0,981	0,996
248,03	0,886	0,969	0,993

286,53	0,837	0,948	0,986
325,04	0,793	0,927	0,978

Pada tabel 5 dapat dilihat bahwa semakin singkatnya rentang waktu perawatan pencegahan (Tpm) dan semakin bertambahnya jumlah komponen cadangan (n), maka peluang sukses mesin dalam menjalankan misinya untuk mencapai target produksi akan semakin meningkat.

#### KESIMPULAN

1. Waktu perawatan pencegahan, berdasarkan umur penggantian komponen mesin yang optimal adalah 105,88 jam.
2. Jumlah komponen cadangan yang optimal, agar biaya yang diharapkan per unit waktu minimal adalah 4 unit.
3. Besarnya peluang sukses sistem dalam menjalankan misinya untuk mencapai target produksi akan semakin meningkat dengan interval nilai 0,793 s.d 0,999.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Adianto, H., 2005, Penerapan Model *Preventive Maintenance Smith And Dekker* di PD. Industri Unit INKABA, Skripsi, Jurusan Teknik dan Manajaemen Industri ITENAS, Bandung
- Algifari, 2000, Analisis Regresi, Edisi II, Penerbit BPFE, Yogyakarta
- Gaspersz, V., 2007, *Lean Six Sigma for Manufacturing and Service Industries*, Gramedia Pustaka, Jakarta.
- Gertsbagh, I, B., 1989, *Statistical Reliability Theory*, Marcell Dekker Inc., New York.
- Mardiananto, G., 2010, Analisis *Total Productive Maintenance (TPM)* dengan Pendekatan Model *Preventive Maintenance Smith and Dekker* Pada Komponen Kritis, Skripsi, Jurusan Teknik Industri IST AKPRIND, Yogyakarta.
- Nakajima, S., 1988, *Total Productive Maintenance Development Program*, Productivity Press Inc. Combridge. PI.

Octavia, T., dkk, 2001, Implementasi *Total Productive Maintenance* di Departemen Non Jahit PT. Kerta Rajasa Raya, Jurnal Teknik Industri, FTI, UK Petra, Vol.3, No.1, Juni 2001.

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

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

Sodikin, I., 2008, Penentuan Interval Perawatan Preventif Komponen Elektrik dan Komponen Mekanik yang Optimal pada Mesin Excavator Seri PC 200-6 dengan Pendekatan Model Jardine, Jurnal Teknologi, Vol. 1 No. 2, Desember 2008, ISSN: 1979-3405.

Sodikin, I., 2010, Analisis Penentuan Jumlah Persediaan Suku Cadang Rantai Garu Mesin Penggiling Tebu Berdasarkan Tingkat Kekritisn Komponen Model ABC dengan Menggunakan *Spare Part Requirement Nomograph*, Jurnal Teknologi TECHNOSCIENTIA, Vol. 2 No. 2 Februari 2010, ISSN: 1979-8415.

Walpole R, E., Myers Raymond H, 1986, Ilmu Peluang dan Statistika untuk Insinyur dan Ilmuan, ITB-Press, Bandung.

Wicaksono, R., 2006, Algoritma Untuk Menentukan Waktu Penggantian Optimal dengan Distribusi Kegagalan Weibull, Skripsi, Jurusan Matematika FMIPA Universitas Padjajaran, Bandung.