

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab kedua ini berisikan studi dari beberapa literatur mengenai teori-teori yang berhubungan dengan permasalahan penelitian sehingga penelitian dapat diterima kebenarannya.

2.1 PENELITIAN TERDAHULU

Penelitian terdahulu berisikan beberapa penelitian-penelitian serupa yang telah dilakukan sebelum penulis melakukan penelitian ini guna untuk menjadi panduan dalam mengerjakan penelitian ini, berikut beberapa hasil penelitian yang sudah sebelumnya dilakukan dengan penggunaan metode *age replacement*:

1. Kusnadi (2015) di perusahaan PT. Kereta Api Indonesia yang terletak di daerah Dipo, Bandung. Dalam hal ini meneliti tentang kerusakan komponen-komponen yang terjadi di salah satu lokomotif kereta, yaitu lokomotif DE CC 201 seri 99, dengan menggunakan metode *age replacement* yang mana pada lokomotif ini sering terjadi kerusakan pada ke-44 komponennya, yang menghabiskan rata-rata 38 kerusakan pada setiap tahunnya. Melalui pengolahan dengan diagram pareto maka dipilih 23 komponen kritis yang akan diteliti. Selanjutnya dari komponen kritis tersebut didapatkan obyek penelitiannya berdasarkan beberapa aspek yaitu roda tiga hingga roda enam, dan radiator. Ditemukan solusi model menghasilkan penggantian roda optimal adalah selama 54 hari, dan penggantian radiator optimal adalah selama 23 hari. Tujuan dari penelitian ini adalah pada PT. KAI yang berlokasi di Dipo Bandung ini tidak mempunyai jadwal penggantian komponen yang tetap sehingga diperlukan metode *age replacement* dalam menentukan *interval* penggantian komponen yang tetap serta biaya yang minimal. Dari hasil penelitian, diperoleh *total cost* (T_c) sebelum dilakukan usulan penelitian adalah sebesar Rp. 17.04552002/hari dan setelah usulan adalah Rp.17.46815171/hari pada komponen roda tiga sampai roda enam dan T_c pada radiator sebelum dilakukan usulan adalah sebesar Rp.72.89485271/hari menjadi Rp.64.66192571/hari

2. Iksan (2014) dalam penelitiannya yang dilakukan di PT. Aditama Raya Farmino membahas tentang kerusakan komponen yang terdapat pada mesin stripping. Untuk meminimasi waktu dan mengurangi jumlah produk cacat. Dari hasil penelitian diketahui bahwa interval perawatan pencegahan yang efisien menggunakan metode *age replacement* adalah untuk dilakukan pergantian tetap setiap 11 hari sekali dengan total biaya minimum yang diusulkan sebesar Rp. 343.864,- dengan tingkat keandalan pada komponen sebesar 57,77%. Hal ini menunjukkan bahwa penggantian tetap selama 11 hari akan memperoleh angka sebesar Rp. 69.150.000,- lebih rendah apabila dibandingkan dengan kondisi awal sebelum diusulkan metode *age replacement* yaitu pada kondisi awal perusahaan sebelumnya sebesar Rp. 81.562.500 dengan demikian terjadi penghematan pada perusahaan sebesar Rp. 12.412.500,- atau sebesar 15% dalam biaya perbaikan.
3. Rajagukguk (2014) dalam penelitiannya pada PT. PDM Indonesia yaitu sebuah pabrik yang bergerak pada pembuatan kertas rokok. Pada perusahaan ini menggunakan *Paper Machine*, yang digunakan untuk mengolah bubur kertas (pulp) menjadi kertas rokok. Dari pengamatan yang dilakukan oleh peneliti diketahui bahwa komponen kritis yang menjadi fokus utama penelitian adalah komponen *bearing* dan *gear coupling*. Peneliti ingin menghitung jadwal perkiraan interval jadwal penggantian komponen hasil yang didapat melalui metode *age replacement* dan *block replacement*. Dari penghitungan menggunakan metode *age replacement* dalam penggantian komponen kritis diperoleh waktu penggantian komponen bearing dilakukan pada waktu sebelum beroperasi selama 25 hari. Sedangkan untuk komponen gear coupling mendapatkan waktu 35 hari sebelum penggantian. Untuk penghematan kedua biaya pada komponen tersebut yaitu jika dilakukan penggantian berencana terhadap komponen bearing adalah sebesar Rp. 29.066.195.1415,0 (63,87%). Sedangkan untuk gear coupling sebesar Rp. 32.846.411.5417,- (71,84%).

Berikut adalah penelitian terdahulu yang tersaji dalam bentuk tabel yang terdapat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Tabel penelitian terdahulu

Peneliti	Objek Penelitian	Masalah	Metode	Solusi
Krisnadi (2014)	PT. KAI Dipo	Dalam melakukan penanganan perawatan lokomotif, ditemui bahwa lokomotif DE CC 201 seri 99 memiliki tingkat frekuensi kerusakan yang sangat tinggi dengan rata-rata 38 kerusakan tiap tahunnya	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Age Replacement</i> • <i>Diagram Pareto</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Membuat koordinasi antar bagian operasi dan <i>maintenance</i> yang lebih baik • Menjamin kesiapan penggantian komponen
Iksan (2014)	PT. Aditama Raya Farmindo	Menentukan interval waktu perawatan pencegahan terhadap <i>heater</i> mesin <i>stripping</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Age Replacement</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Menerapkan perawatan pada semua mesin khususnya mesin <i>stripping</i> terencana • Metode <i>Age Replacement</i> untuk dapat dikembangkan ke jenis mesin lainnya
Rajagukguk (2014)	PT. PDM Indonesia	Frekuensi kerusakan dari <i>bearing</i> dan <i>gear coupling</i> pada mesin <i>suction dryery</i> yang tinggi dikarenakan tidak adanya sistem penggantian pada komponen kritis	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Age Replacement</i> • <i>Block Replacement</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Pencatatan waktu kerusakan agar lebih mendetail • Sebaiknya melakukan penggantian penggunaan dengan metode <i>Age Replacement</i>
Raynar (2015)	PR. Adi Bungsu Malang	Tingginya biaya reparasi yang disebabkan oleh seringnya penggantian komponen dan tingginya frekuensi kerusakan	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Age Replacement</i> • <i>Metode ABC</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Melakukan perbaikan pada komponen kritis yang menghabiskan biaya besar • Menetapkan jadwal penggantian perbaikan

2.2 Perawatan

Pada dasarnya, perawatan atau yang sering juga disebut *Maintenance* dan pemeliharaan adalah suatu kegiatan yang penting dalam perusahaan industri untuk berlangsungnyakelancaran atau tidaknya suatu alur proses produksi pada mesin guna menjaga kemampuan dari suatu mesin menjalankan tugasnya agar tetap stabil. Berikut adalah beberapa definisi dari perawatan (*maintenance*) oleh para ahli:

1. Perawatan menurut Supandi (1992) adalah suatu konsepsi dari semua aktivitas yang diperlukan untuk menjaga atau mempertahankan kualitas peralatan agar tetap berfungsi dengan baik seperti dalam kondisi sebelumnya.
2. Perawatan menurut Dhillon (1997) adalah semua tindakan yang penting dengan tujuan untuk menghasilkan produk yang baik atau untuk mengembalikan kedalam keadaan yang memuaskan.
3. Perawatan menurut Assauri (1993) diartikan sebagai suatu kegiatan pemeliharaan fasilitas pabrik serta mengadakan perbaikan, penyesuaian atau penggantian yang diperlukan agar terdapat suatu keadaan operasi produksi yang sesuai dengan yang direncanakan.

2.2.1 Tujuan Perawatan

Tujuan diterapkannya kegiatan perawatan (*maintenance*) menurut Supandi adalah sebagai berikut :

- a. Memungkinkan tercapainya mutu produk serta kualitas dan kepuasan pelanggan melalui penyesuaian, pelayanan dan pengoperasian peralatan secara baik dan benar.
- b. Meminimalkan biaya keseluruhan dari proses produksi yang secara langsung dapat terhubung dengan pelayanan dan perbaikan.
- c. Memperpanjang waktu pemakaian pada mesin dan peralatan.
- d. Meminimumkan sering dan besarnya kendala-kendala pada proses operasi.
- e. Menjaga agar supaya sistem tetap aman dan mencegah kendala-kendala yang mungkin terjadi pada sistem keamanan.
- f. Meningkatkan kapasitas, produktivitas, dan efisiensi dari sistem produksi.

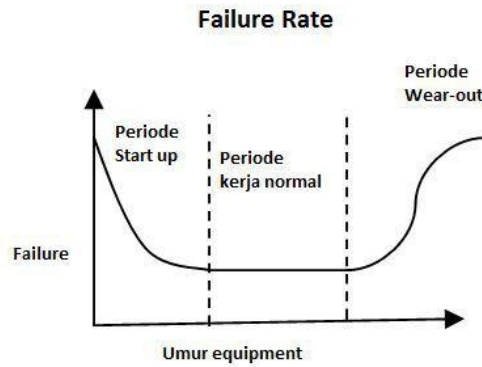
2.2.2 Macam-macam Perawatan

Macam-macam dari perawatan menurut Assauri (1993) dapat dikategorikan menjadi tiga macam, yaitu:

1. Menurut tingkat perawatan:
 - a. Rendah: *Preventive Maintenance* atau perawatan pencegahan adalah perawatan yang dilakukan sebelum terjadinya kerusakan pada peralatan dengan tujuan menghindari terjadinya kerusakan lebih lanjut atau kerusakan yang lebih parah.
 - b. Sedang: *Corrective Maintenance* atau perawatan perbaikan adalah perawatan yang dilakukan setelah kerusakan terjadi yang ditujukan untuk memperbaiki kerusakan tersebut.
 - c. Berat: *Restorative Maintenance* atau perawatan penyembuhan adalah perawatan yang dilakukan pada suatu sistem yang telah mengalami kerusakan parah (*Major Overhaul*) yang lebih bersifat perbaikan kepada sistem yang telah rusak.
2. Menurut waktu perawatan:
 - a. Terjadwal: Perawatan yang telah terencana dalam melakukan penggantian atau perbaikan, biasanya pada skala periode tertentu untuk dilakukan pemeriksaan yang tetap dilakukan walaupun tidak ada kerusakan pada mesin.
 - b. Tidak terjadwal: Perawatan yang hanya dilakukan bilamana ada kerusakan secara mendadak.
3. Menurut keuangan yang tersedia:
 - a. Terprogram: perawatan yang telah mempunyai programnya sendiri, dapat dikatakan mempunyai teknisi, peralatan dan dana yang dialokasikan khusus untuk perawatan, melakukan perbaikan serta pemeriksaan yang telah ditetapkan jadwal pelaksanaannya.
 - b. Tidak Terprogram: Merupakan perawatan yang dikeluarkan oleh pihak perusahaan secara tidak terduga dan menjadi biaya *overhead*

2.3 Bathub Curve

Selama selang waktu pemakaiannya, komponen pada mesin akan mengalami kerusakan biasa maupun kerusakan serius yang dapat menghambat proses produksi. Kerusakan tersebut tentunya dapat menyebabkan turunnya performa dan kinerja dari mesin tersebut. Kerusakan pada mesin dapat berubah-ubah setiap waktu yang bergantung pada keandalan (*reliability*) dari mesin tersebut.



Gambar 2.1 *Bathtub Curve*
Sumber: Supandi (1992)

Sumbu X menunjukkan umur dari peralatan, sementara sumbu Y menunjukkan laju kerusakan. Kurva di atas terbagi menjadi 3, yaitu: periode start up, periode kerja normal, periode *wear-out*.

1. Periode start-up: pada bagian ini mesin beserta komponen-komponennya masih dalam keadaan baru yang bisa dibilang masih dalam kondisi 100% *reliability*. Pada kurva diatas, laju kerusakan menurun dalam jangka waktu tertentu,
2. Periode Kerja Normal: pada bagian ini laju kerusakan berupa konstan yaitu mesin bekerja dalam kondisi tetap. Pada tahap ini, mesin bekerja dalam keadaan paling optimal.
3. Periode *wear-out*: pada tahap ini, mesin sudah digunakan dalam jangka waktu yang cukup lama sehingga terjadi kerusakan dan penuaan pada mesin serta komponen yang berada di dalamnya yang disebabkan peningkatan laju kerusakan tiap waktu.

2.4 Keandalan

Definisi keandalan adalah sebagai suatu sistem untuk dapat menjalankan tugas serta fungsinya dengan baik dalam periode tertentu (Ebeling,1997) Variabel yang terpenting dalam kaitannya dengan keandalan adalah waktu. Dalam hal ini, waktu yang terkait dengan laju kerusakan yang dapat menjelaskan secara jelas tentang keandalan pada suatu sistem. Penggambarannya dapat ditunjukkan dengan probabilitas kerusakan yang mengikuti suatu pola distribusi tertentu.

Dalam reliabilitas terdapat empat konsep yang digunakan dalam pengukuran tingkat keandalan suatu sistem, yaitu:

1. Fungsi Kepadatan Probabilitas

2. Fungsi Distribusi Kumulatif
3. Fungsi Keandalan

2.4.1 Fungsi Kepadatan Probabilitas

Dalam perawatan, umumnya menggunakan fungsi kepadatan probabilitas karena fungsi kerusakan bergantung kepada variable waktu (Jardine, A.K.S, 2006) Kerusakan yang terjadi secara kontinyu dan bersifat kemungkinan dalam selang waktu $(0, \infty)$ Variabel waktu kerusakan X_1, X_2, X_3, \dots , dan komponen yang berbeda, bersifat acak dan saling bergantung. Persamaan kurva dari fungsi kepadatan probabilitas sebagai $f(t)$. Pengukuran dilakukan menggunakan data variable seperti tinggi, jarak dan jangka waktu. Jika $f(t)$ adalah fungsi densitas kemungkinan kerusakan, maka probabilitas terjadi antara selang waktu (t_x, t_y) adalah sebagai berikut:

$$\int_{t_x}^{t_y} f(x) dx \quad (2-1)$$

Sehingga probabilitas terjadinya kerusakan antara t_0 dan t_z adalah:

$$\int_{t_0}^{t_z} f(t) dt \quad (2-2)$$

2.4.2 Fungsi Distribusi Kumulatif

Fungsi distribusi kumulatif $F(t)$ merupakan fungsi yang menggambarkan probabilitas terjadinya kerusakan sebelum waktu t atau biasa disebut dengan fungsi ketidakandalan. Sehingga menurut Dhillon (2002 : 176) secara matematis dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$F(t) = \int_0^t f(t) dt \quad (2-3)$$

2.4.3 Fungsi Keandalan

Keandalan (*Reliability*) didefinisikan sebagai probabilitas suatu item dalam menjalankan fungsinya secara memuaskan selama periode waktu tertentu dan digunakan atau dioperasikan dalam kondisi yang semestinya (Dhillon, 2002 : 174). Sedangkan arti lainnya adalah peluang dari sebuah unit yang dapat bekerja secara normal ketika digunakan untuk kondisi tertentu setidaknya bekerja dalam suatu kondisi yang telah ditetapkan.

Keandalan adalah suatu ukuran probabilitas yang menyatakan hubungan antara keandalan dengan waktu (t), sehingga keandalan adalah peluang suatu komponen dapat bekerja optimal sampai pada batas waktu t . Dhillon (2002 : 174) menyatakan fungsi keandalan bisa dituliskan dalam notasi matematis :

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (2-4)$$

Sedangkan peluang komponen gagal bekerja dengan optimal dalam jangka waktu t disebut fungsi ketidakandalan $F(t)$ dan menurut Dhillon (2002 : 173-174) bisa dituliskan dalam notasi matematis :

$$F(t) = \int_0^t f(t) dt \quad (2-5)$$

Sehingga dengan mensubstitusikan persamaan (2-4) ke persamaan (2-5) akan didapatkan fungsi keandalan dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$R(t) = 1 - \int_0^t f(t) dt \quad (2-6)$$

Keterangan :

- $R(t)$ = Keandalan saat waktu t
- t = waktu operasi peralatan atau komponen
- $F(t)$ = fungsi padat peluang
- $f(t)$ = fungsi kerusakan

2.5 Model Distribusi Probabilitas

Beberapa mesin yang sama jika dilakukan pengoperasian dalam kondisi yang berbeda maupun dalam kondisi yang sama akan mengalami karakteristik kerusakan yang berbeda pula. Oleh sebab itulah, setiap mesin memiliki karakteristik kerusakan yang berbeda-beda dan untuk dilakukan analisa juga berbeda. Dalam menganalisa kemampuan mesin dan komponen, yang biasanya sering dipakai dalam perawatan adalah:

2.5.1 Distribusi Eksponensial

Distribusi eksponensial dapat digambarkan untuk suatu kerusakan pada mesin yang disebabkan oleh rusaknya komponen yang terdapat pada mesin atau peralatan yang dapat menyebabkan berhentinya mesin yang tidak terpengaruhi oleh cara pemakaian mesin. Oleh karena itu, distribusi ini mempunyai ketetapan laju kerusakan konstan yang bergantung pada nilai λ

Fungsi-fungsi pada distribusi eksponensial adalah sebagai berikut (Harinaldi,2005):

- a. Fungsi Kepadatan Probabilitas

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (2-7)$$

$$t > 0$$

- b. Fungsi Distribusi Kumulatif

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (2-8)$$

- c. Fungsi Keandalan

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (2-9)$$

- d. MTTF (*Mean Time To Failure*)

$$\text{MTTF} = \frac{1}{\lambda} \quad (2-10)$$

2.5.2 Distribusi Weibull

Distribusi Weibull merupakan bagian dari distribusi kerusakan yang paling sering dipakai sebagai model distribusi jangka hidup dari suatu peralatan. Distribusi ini sering digunakan dalam penggambaran karakteristik kerusakan dan keandalan komponen (Harinaldi,2005) contoh lainnya digunakan untuk memodelkan *time to failure* yaitu sistem dimana jumlah kegagalan meningkat dengan berjalannya waktu.

Fungsi-fungsi pada distribusi *Weibull* (Harinaldi,2005):

- a. Fungsi Kepadatan Probabilitas

$$f(t) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta\right] \quad (2-11)$$

$$t \geq \gamma; \alpha, \beta \geq 0$$

- b. Fungsi Distribusi Kumulatif

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta\right] \quad (2-12)$$

- c. Fungsi Keandalan

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta\right] \quad (2-13)$$

$$R(t) = 1 - F(t)$$

- d. MTTF (*Mean Time To Failure*)

$$\text{MTTF} = \alpha \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (2-14)$$

Γ =fungsi gamma, $\Gamma(n) = (n-1)!$, dapat diperoleh dari nilai pada fungsi gamma

Parameter α disebut sebagai parameter skala, sedangkan parameter β biasa disebut parameter bentuk atau kemiringan Weibull, bentuk distribusi Weibull bergantung pada parameter β , yaitu:

$\beta < 1$: Laju kerusakan cenderung menurun

$\beta = 1$: Laju kerusakan cenderung konstan

$\beta > 1$: Laju kerusakan cenderung meningkat

2.5.3 Distribusi Lognormal

Distribusi lognormal merupakan distribusi untuk menggambarkan kerusakan pada situasi yang beragam. Biasa digunakan untuk permodelan berbagai jenis sifat material dan kelelahan material.

Fungsi-fungsi pada distribusi lognormal yaitu (Harinaldi,2005):

- a. Fungsi Kepadatan Probabilitas

$$f(t) = \frac{1}{t\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{[\ln(t)-\mu]^2}{2\sigma^2}\right); -\infty < t < \infty \quad (2-15)$$

- b. Fungsi Kumulatif Kerusakan

$$F(t) = \phi\left(\frac{\ln(x)-\mu}{\sigma}\right) \quad (2-16)$$

- c. Fungsi Keandalan

$$R(t) = 1 - \phi\left(\frac{\ln(x)-\mu}{\sigma}\right) \quad (2-17)$$

- d. MTTF (*Mean Time To Failure*)

$$MTTF = \exp\left\{\mu + \frac{\sigma^2}{2}\right\} \quad (2-18)$$

Konsep *reliability* bergantung pada mean (μ) dan standar deviasi (σ)

2.5.4 Distribusi Normal

Distribusi normal merupakan distribusi probabilitas yang digunakan jika pengaruh dari suatu terjadinya nilai acak atau random yang diakibatkan oleh sejumlah variasi acak yang tidak bergantung (independent) yang kecil.

Fungsi pada distribusi normal adalah (Harinaldi,2005):

- a. Fungsi Kepadatan Probabilitas

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right); -\infty < t < \infty \quad (2-19)$$

- b. Fungsi Kumulatif Kerusakan

$$F(t) = \phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \quad (2-20)$$

- c. Fungsi Keandalan

$$R(t) = 1 - \phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \quad (2-21)$$

- d. MTTF (*Mean Time To Failure*)

$$MTTF = \mu \quad (2-22)$$

2.6 Parameter Distribusi dan Pola Distribusi

Pada bagian ini dilakukan dua tahap yaitu identifikasi distribusi awal dan estimasi parameter untuk mengetahui distribusi apa yang digunakan

2.6.1 Identifikasi Awal Distribusi

Penggunaan metode regresi linear dapat digunakan yaitu dengan menggunakan persamaan $y = a + bx$. Perhitungannya adalah:

1. Nilai Tengah Kerusakan (*Median Rank*)

Dalam menghitung nilai fungsi distribusi kumulatif ($F(t_i)$) digunakan metode pendekatan *median rank* karena memberikan hasil yang lebih baik untuk distribusi kerusakan yang mempunyai penyimpangan distribusi (*skewed distribution*). Nilai $F(t_i)$ tersebut didapatkan pada persamaan sebagai berikut (Ebellling, hal 364):

$$F(t) = \frac{i-0,3}{n+0,4} \quad (2-23)$$

Dimana: i = data waktu ke- t

n = banyaknya kerusakan

2. *Index of Fit*

Perhitungan *Index of Fit* digunakan untuk mencari nilai r (koefisien korelasi) yang menunjukkan ukuran hubungan linear antara dua peubah x dan y . Nilai r yang terbesar adalah yang paling mendekati nilai 1, artinya terdapat korelasi atau hubungan linear yang kuat diantara peubah x dan y . Rumus umum dalam persamaan *index of fit* adalah (R.Manzini hal. 146):

$$r = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n} \right]} \sqrt{\left[\sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \bar{y})^2}{n} \right]}} \quad (2-24)$$

Dimana: X = Nilai variabel X pada distribusi

Y = Nilai variabel Y pada distribusi

n = Jumlah kerusakan

Untuk menghitung distribusi awal untuk tiap-tiap distribusi adalah:

a. Distribusi Eksponensial

- $X_i = t_i$
- $Y_i = \ln(1/1-F(t_i))$ (2-25)

b. Distribusi Weibull

- $X_i = \ln t_i$

$$\bullet Y_i = \ln \ln (1/1-F(t_i)) \quad (2-26)$$

c. Distribusi Lognormal

$$\bullet X_i = \ln t_i$$

$$\bullet Y_i = Z_i = \Phi^{-1} (F(t_i)) \quad (2-27)$$

d. Distribusi Normal

$$\bullet X_i = t_i$$

$$\bullet Y_i = Z_i = \Phi^{-1} (F(t_i)) \text{ dimana nilai } Z_i = \Phi^{-1} (F(t_i)) \text{ didapat pada tabel}$$

Standard Normal Cumulative Probability (2-28)

2.6.2 Estimasi Parameter

Pengukuran estimasi parameter dilakukan dengan menggunakan metode *Maximum Likelihood Estimator* (MLE) yaitu estimasi kemungkinan maksimum yang akan diperoleh pada parameter.

Menurut Ebell (1997 : 58 - 76), rumus yang digunakan dalam menentukan parameter distribusi antara lain :

1. Distribusi Weibull

$$\text{Parameter } \mu = \alpha^{-\frac{1}{\beta}\Gamma(1+\frac{1}{\beta})} \quad (2-29)$$

$$\text{Parameter } \sigma^2 = \alpha^{-\frac{2}{\beta}} \{ \Gamma(1 + \frac{2}{\beta}) - [\Gamma(1 + \frac{1}{\beta})]^2 \} \quad (2-30)$$

2. Distribusi Normal

$$\text{Parameter } \mu = \text{rata-rata } time \text{ to failure} \quad (2-31)$$

$$\text{Parameter } \sigma^2 = \text{Variansi } time \text{ to failure} \quad (2-32)$$

3. Distribusi Lognormal

$$\text{Parameter } A(t_i) = e^{\mu + \frac{\sigma^2}{2}} \quad (2-33)$$

$$\text{Parameter } Var(t_i) = e^{2\mu + \sigma^2} \cdot (e^{\sigma^2} - 1) \quad (2-34)$$

Dimana :

$$A(t_i) = \text{rata-rata } time \text{ to failure}$$

$$Var(t_i) = \text{variansi } time \text{ to failure}$$

4. Distribusi Eksponensial

$$\text{Parameternya adalah } \lambda = \lambda = r/T \quad (2-35)$$

Dimana:

r = n = banyaknya kerusakan

T = total waktu kerusakan

2.7 Age Replacement

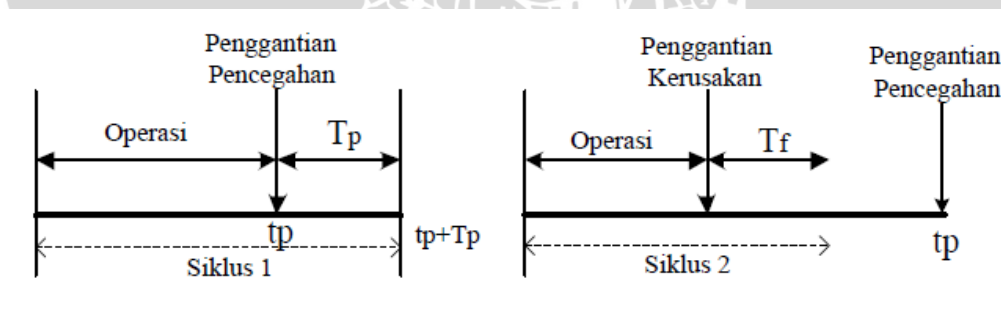
Metode *Age Replacement* adalah suatu metode penggantian perawatan dimana umur pemakaian dari komponen tersebut adalah yang paling diperhatikan dalam menentukan interval waktu penggantian komponen, sehingga penggantian komponen atau peralatan yang masih baru dipasang dapat dihindari penggantian dini atau dalam waktu yang singkat. (Jardine, A.K.S,2006)

Dalam metode *age replacement* yang terpenting adalah penentuan penggantian berdasarkan umur komponen sehingga dilakukan penggantian pada suatu interval waktu dan kembali dilakukan penggantian pada interval waktu berikutnya sesuai dengan waktu yang telah ditentukan.

Metode *Age Replacement* mempunyai dua siklus dalam penggantian pencegahan, yaitu sebagai berikut:

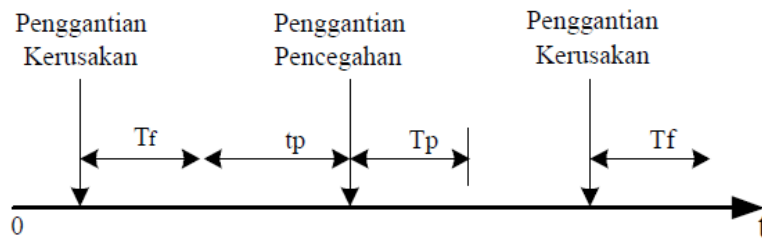
1. Siklus 1 yaitu siklus pencegahan yang diakhiri dengan kegiatan penggantian pencegahan pada komponen yang ditentukan melalui komponen yang telah mencapai umur penggantian komponen yang telah direncanakan.
2. Siklus 2 yaitu siklus kerusakan yaitu siklus penggantian yang didasarkan pada umur komponen yang rusak yang ditentukan sebelum mencapai waktu penggantian yang sudah direncanakan terlebih dahulu.

Untuk kedua siklus dapat dilihat pada gambar 2.2 berikut:



Gambar 2.2 Model Metode *Age Replacement*
 Sumber : Jardine, A.K.S, 2006

Untuk ketentuan perawatan penggantian pencegahan dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Ketentuan Penggantian Metode *Age Replacement*

Sumber : Jardine, A.K.S, 2006

Dengan:

t_p = Interval waktu penggantian pencegahan tiap satuan waktu.

T_f = Waktu rata-rata yang diperlukan untuk penggantian yang disebabkan kerusakan.

T_p = Waktu rata-rata yang diperlukan untuk penggantian pencegahan

Bentuk dari model ongkos penggantian pencegahan dapat dibentuk sebagai berikut

(Jardine, A.K.S):

$$C_{(t_p)} = \frac{\text{ekspektasi ongkos perawatan penggantian per siklus}}{\text{ekspektasi panjang siklus}} \quad (2-36)$$

1. Ekspektasi ongkos penggantian per siklus

= {ekspektasi biaya total pada siklus pencegahan x probabilitas terjadinya siklus pencegahan} + {ekspektasi biaya total pada siklus kerusakan x probabilitas terjadinya siklus kerusakan.

$$= \{C_p \cdot R(t_p)\} + \{C_f \cdot \{1-R(t_p)\}\} \quad (2-37)$$

2. Ekspektasi Panjang Siklus

= {ekspektasi panjang siklus pencegahan x probabilitas terjadinya siklus perencanaan} + {ekspektasi panjang siklus kerusakan x probabilitas terjadinya siklus kerusakan}

$$= \{[t_p + T_p] \cdot R(t_p)\} + \{[M(t_p) + T_f] \cdot \{1-R(t_p)\}\} \quad (2-38)$$

Nilai interval rata-rata terjadinya kerusakan $M_{(t_p)}$ yaitu:

$$M_{(t_p)} = \frac{MTTF}{1-R(t_p)} \quad (2-39)$$

Model penggantian dengan kriteria minimasi ongkos adalah sebagai berikut:

$$C_{(t_p)} = \frac{(C_p R(t_p) + C_f (1-R(t_p)))}{[(t_p + T_p) R(t_p)] + [(M(t_p) + T_f)(1-R(t_p))]} \quad (2-40)$$

Dimana:

t_p = interval waktu penggantian pencegahan

T_p = waktu untuk melakukan penggantian yang telah terencana

T_f = waktu untuk melakukan penggantian kerusakan

C_p = biaya penggantian terencana

C_f = biaya penggantian tidak terencana

$R(tp)$ = probabilitas terjadinya siklus pencegahan

T_p+tp = panjang siklus pencegahan

2.8 Klasifikasi Komponen Kritis dengan Metode ABC

Penentuan komponen kritis yang akan dilakukan penghitungannya dengan metode ABC, yaitu penentuan berdasarkan tingkat harga yang paling mempengaruhi perawatan dari biaya penggunaan komponen atau material tiap-tiap periode waktu tertentu. Pengkelompokan ABC mengikuti prinsip sama dengan hukum pareto yaitu dimana sekitar 80% dari nilai inventori komponen diwakili oleh 20% inventori pada komponen (Assauri,1993).

Urutan pengklasifikasian komponen kritis menggunakan metode ABC adalah mengelompokan material ke dalam tingkatan A,B, dan C, mengikuti prinsip 80%-20%

1. Menentukan volume penggunaan dari komponen tiap periode waktu dari material inventori yang akan diklasifikasikan, dalam hal ini komponen.
2. Kalikan volume penggunaan tiap periode waktu tersebut dari tiap-tiap material inventori dengan biaya tiap unit guna untuk mendapatkan nilai total penggunaan biaya.
3. Jumlahkan keseluruhan nilai dari penggunaan biaya kesemua material
4. Untuk nilai total penggunaan biaya dari tiap-tiap material inventori dibagi dengan nilai total penggunaan biaya, dengan menggunakan persentase
5. Urutkan dalam persentase ranking dari terbsesar sampai terkecil menurut nilai total penggunaan biaya
6. Pengklasifikasian material tersebut ke 3 kelas, A, B, dan C dengan kriteria kelas A (20%) yang termasuk komponen kritis, kelas B (30%) digolongkan komponen semi-kritis, dan kelas C (50%) kedalam komponen non kritis.

2.9 Incremental Search of Method

Incremental search of method adalah sebuah metode numerik yang digunakan ketika dibutuhkan untuk menemukan sebuah interval dari dua nilai 'x' dimana akar seharusnya berada.

Metode pencarian incremental dimulai dengan nilai awal x_0 dan jangka interval diantara titik x_0 dan x_1 , interval tersebut akan dinamakan delta yang mana pencarian akar didalam x-axis dari kiri ke kanan (Jacob B.).

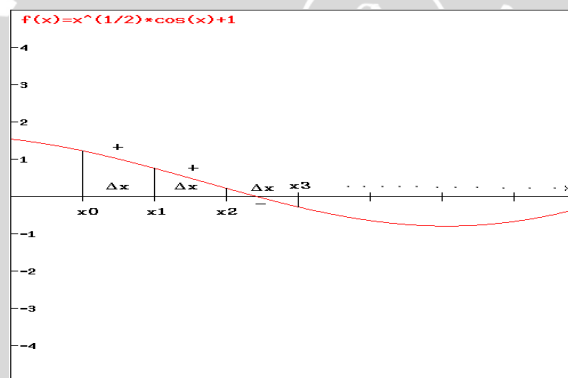
Berikut persamaan untuk menemukan nilai x_1 :

$$x_1 = x_0 + \Delta x \quad (2-41)$$

Jika dikonversikan persamaan tersebut menjadi satu iterasi maka didapatkan:

$$x_n = x_{n-1} + \Delta x \quad (2-42)$$

Dengan persamaan rumus diatas, diperoleh beberapa nilai dari x yang bisa digunakan pada fungsi ini. Untuk mengetahui dimana akar dan interval maka solusinya adalah mengevaluasi sepasang jumlah nilai 'x' yang didapatkan dari fungsi sebelumnya, kalikan dan lihat tanda yang didapat, jika $f(x_{n-1}) \cdot f(x_n)$ lebih besar dari 0 maka tidak ada akar, tetapi jika $f(x_{n-1}) \cdot f(x_n) < 0$, dapat dipastikan terdapat akar diantara interval $[x_{n-1}, x_n]$



Gambar 2.4 Contoh *Incremental Search Method*
Sumber: Jacob B. (2013)

2.10 GOODNESS OF FIT (UJI KESESUAIAN)

Goodness of Fit adalah suatu uji yang dilakukan untuk mencari kesesuaian antara dugaan awal jenis distribusi yang digunakan dengan jenis distribusinya. *Goodness of Fit* membandingkan antara hipotesa nol yang menyatakan bahwa data kerusakan mengikuti distribusi dugaan awal dan hipotesa alternatif menyatakan bahwa data kerusakan tidak mengikuti distribusi dugaan awal. Ada tiga macam uji statistik yang digunakan dalam pengujian *Goodness of Fit*, yaitu *Man's Test* untuk distribusi Weibull dan *Kolmogorov-Smirnov* untuk distribusi Normal dan Lognormal.

2.10.1 Man's Test

Man's Test adalah uji statistik yang digunakan jika dugaan distribusi awal adalah distribusi weibull. Menurut Ebeling (1997 : 400), hipotesa dalam uji ini adalah:

H_0 = Data kerusakan berdistribusi *Weibull*

H_1 = Data kerusakan tidak berdistribusi *Weibull*

Rumus uji statistiknya adalah:

$$M = \frac{k_1 \sum_{i=k_1+1}^{r-1} \frac{(\ln t_{i+1} - t_i)}{M_i}}{k_2 \sum_{i=1}^{k_1} \frac{(\ln t_{i+1} - t_i)}{M_i}} \quad (2-43)$$

Dimana :

$$k_1 = \frac{r}{2}; k_2 = \frac{r-1}{2} \quad (2-44)$$

$$M_i = Z_{i+1} - Z_i \quad (2-45)$$

$$Z_i = \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{i-0,5}{n+0,25} \right) \right] \quad (2-46)$$

Jika nilai $M < M_{critic}$ maka H_0 diterima. Nilai M_{critic} diperoleh dari tabel F dengan $v_1 = 2k_1$ dan $v_2 = 2k_2$.

2.10.2 Kolmogorov-Smirnov

Kolmogorov-Smirnov adalah uji statistik yang digunakan jika distribusi dugaan awal adalah distribusi lognormal atau normal. Menurut Ebeling (1997 : 402), hipotesa untuk melakukan uji ini adalah:

H_0 = Data kerusakan berdistribusi Normal atau Lognormal

H_1 = Data kerusakan tidak berdistribusi Normal atau Lognormal

Rumus uji statistiknya adalah:

$$D_n = \max\{D_1, D_2\} \quad (2-47)$$

Dimana untuk distribusi normal sebagai berikut :

$$D_1 = \max_{1 \leq i \leq n} \left\{ \Phi \left(\frac{t_i - t}{s} \right) - \frac{i-1}{n} \right\}; D_2 = \max_{1 \leq i \leq n} \left\{ \frac{1}{n} - \Phi \left(\frac{t_i - t}{s} \right) \right\} \quad (2-48)$$

$$t = \sum_{i=1}^n \frac{t_i}{n}; S^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(t_i - t)^2}{n} \quad (2-49)$$

Dimana untuk distribusi lognormal sebagai berikut :

$$D_1 = \max_{1 \leq i \leq n} \left\{ \Phi \left(\frac{\ln t_i - t}{s} \right) - \frac{i-1}{n} \right\}; D_2 = \max_{1 \leq i \leq n} \left\{ \frac{1}{n} - \Phi \left(\frac{\ln t_i - t}{s} \right) \right\} \quad (2-50)$$

$$t = \sum_{i=1}^n \frac{\ln t_i}{n}; S^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(\ln t_i - t)^2}{n} \quad (2-51)$$

Dimana:

t_i = Data waktu kerusakan ke-i

s = standar deviasi

Cumulative Probability $\Phi\left(\frac{\ln t_i - \bar{t}}{s}\right)$ atau $\Phi\left(\frac{t_i - \bar{t}}{s}\right)$ diperoleh dari tabel standarisasi probabilitas normal dan lognormal. Jika nilai $D_n < D_{cric}$ maka H_0 diterima. Nilai D_{cric} diperoleh dari tabel *critical value for Kolmogorov-Smirnov Test for Normality*.

2.11 Cost of Failure dan Cost of Preventive

2.11.1 Cost of Failure

Menurut Feigenbaum (1961) bahwa pengertian dari *Cost of Failure* adalah biaya yang timbul akibat buruknya kualitas ataupun kegagalan produk yang tidak memenuhi standar pelanggan. Dalam biaya kegagalan ini, terdapat lagi biaya kegagalan internal yang terjadi akibat buruknya kualitas selama proses produksi dan Biaya Kegagalan Eksternal yang terjadi akibat kegagalan produk yang telah dijual. Contoh dari Biaya kegagalan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu: Biaya Pembelian Bahan (Komponen), Biaya yang seharusnya diperoleh namun hilang akibat penggantian komponen secara tiba-tiba sehingga mesin mengalami berhenti (*opportunity cost*).

Perhitungan yang digunakan dalam menentukan *Cost of Failure* pada penelitian ini berdasarkan pengeluaran perusahaan terhadap perawatan penggantian dan dengan memperhitungkan *opportunity cost* yang hilang (Jardine, 2006): Biaya Tenaga Kerja + Biaya Komponen + *Opportunity Cost*

2.11.2 Cost of Preventive

Cost of Preventive pada perawatan mencakup biaya-biaya yang digunakan pada perusahaan untuk proses perawatan tanpa memperhitungkan *opportunity cost* yang ada dikarenakan mesin telah dilakukan *preventive maintenance* sehingga dapat memaksimalkan proses produksi yang ingin dicapai sehingga tidak mengalami kehilangan *opportunity cost*.

Perhitungan yang digunakan dalam menentukan *Cost of Preventive* pada penelitian ini berdasarkan faktor-faktor yang berpengaruh pada pengeluaran untuk biaya pencegahan perawatan (Jardine, 2006): Biaya Tenaga Kerja + Biaya Komponen

2.12 Mean Time To Failure (MTTF)

Menurut Ebelling (1997), Mean Time to Failure (MTTF) adalah nilai rata-rata interval atau selang waktu kerusakan dari suatu distribusi kerusakan yang didefinisikan oleh fungsi kepadatan probabilitas $f(t)$ sebagai berikut:

$E(T)$ = Random variabel dan positif

$$E(T) = \int_{-\infty}^{\infty} t f(t) dt$$

$$E(T) = - \int_0^{\infty} t dR.t(t)$$

$$E(T) = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (2-52)$$

$$MTTF = E(T) = \int_0^{\infty} t f(t) dt \quad (2-53)$$

Nilai $f(t)$ diperoleh dari fungsi kepadatan probabilitas pada persamaan (2-19).



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

