

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1. Perawatan (*Maintenance*)

##### 2.1.1. Pengertian Umum

Perawatan dapat didefinisikan sebagai berikut :

“ Setiap aktifitas yang dirancang bangun sedemikian rupa sehingga sarana dan aktiva lain dalam kondisi yang dapat menunjang tujuan organisasi. ”<sup>1)</sup>

“ Suatu kombinasi dari berbagai tindakan yang dilakukan untuk menjaga suatu barang dalam atau memperbaikinya sampai suatu kondisi yang dapat diterima. “<sup>2)</sup>

“ Kegiatan untuk merawat atau menjaga fasilitas atau peralatan pabrik dan mengadakan perbaikan atau penyesuaian atau penggantian yang diperlukan agar terdapat suatu keadaan operasi produksi yang memuaskan sesuai dengan apa yang direncanakan.”<sup>3)</sup>

Dari beberapa pengertian tersebut dapat diketahui bahwa kegiatan perawatan adalah kombinasi aktifitas yang dirancang dan dilakukan untuk menjaga kualitas suatu barang dan peralatan pabrik serta mengadakan perbaikan atau penggantian yang diperlukan. Sementara definisi dari manajemen itu sendiri adalah suatu aktivitas atau kegiatan yang terkoordinir dengan menggunakan perencanaan, pengorganisasian, pelaksanaan dan pengendalian dengan menggunakan atau mengkoordinasikan kegiatan-kegiatan orang lain. Sedangkan arti dari

- 
- 1) Sukanto Reksohadiprodjo. 1995. *Manajemen Produksi dan Operasi*, BPFE Yogyakarta, hal 345.
  - 2) BS3811, 1974, *Maintenance Terms in Terotechnology*, British Standards Institution, 2Park Street, London W1A 2BS, hal 1.
  - 3) Mardiyana. 1998. *Manajemen Produksi*, Badan Penerbit IPWI, Jakarta, hal 91.

manajemen perawatan adalah segala kegiatan dalam merawat atau menjaga fasilitas perusahaan dimana dalam pelaksanaan dan pengendaliannya dilakukan dengan mengorganisasikan bagian-bagian terkait agar tercapai produktivitas yang tinggi.

Dalam perawatan, tindakan-tindakan yang perlu dilakukan antara lain.<sup>4)</sup> :

1. Pemeriksaan : suatu tindakan yang ditunjukkan terhadap sistem untuk mengetahui apakah sistem masih berada dalam keadaan yang memenuhi persyaratan yang diinginkan.
2. Servis : tindakan yang bertujuan untuk menjaga kondisi suatu sistem yang telah diatur dalam buku petunjuk pemakaian sistem.
3. Penggantian Komponen : suatu tindakan penggantian komponen sistem yang sudah tidak berfungsi dimana tindakan penggantian komponen sistem dilakukan dapat bersifat terencana maupun tidak terencana.
4. Perbaikan : tindakan perbaikan minor yang dilakukan pada saat terjadi kerusakan kecil.
5. *Overhaul* : tindakan perbaikan secara menyeluruh atau besar-besaran yang biasanya dilakukan pada akhir periode tertentu.
6. Penggantian sistem : tindakan yang dilakukan apabila tindakan-tindakan yang lain sudah tidak memungkinkan lagi.

Pada dasarnya perawatan (*maintenance*) merupakan suatu kegiatan yang diarahkan pada tujuan untuk menjamin kelangsungan fungsional suatu sistem produksi sehingga dari sistem itu dapat diharapkan menghasilkan output yang sesuai dengan apa yang dikehendaki. Sistem perawatan dapat dipandang sebagai bayangan dari sistem produksi, dimana apabila sistem produksi beroperasi dengan kapasitas yang sangat tinggi maka perawatan akan menjadi lebih intensif.

---

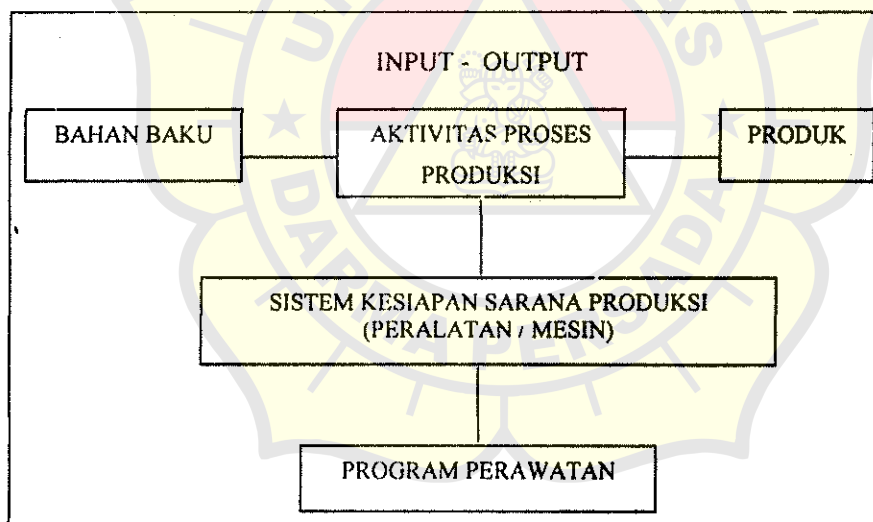
4) Ebeling. E. 1997. *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. Mc Graw-Hill Companies. USA, hal 31.

### 2.1.2. Pentingnya Perawatan

Pemeliharaan dan keandalan mesin bertujuan untuk mempertahankan kemampuan sistem, selagi mengendalikan biaya. Sebuah sistem pemeliharaan yang baik menghilangkan variabilitas sistem. Sistem harus didesain dan dipertahankan agar mencapai kinerja dan standar kualitas yang diharapkan.

Pemeliharaan mencakup semua aktivitas yang berkaitan dalam mempertahankan peralatan agar tetap dapat bekerja.<sup>5)</sup>

Pada dasarnya program perawatan terhadap aktivitas proses produksi memiliki kaitan yang erat, dimana perubahan *input* menjadi *output* dalam proses manufaktur tidak akan berjalan sebagaimana mestinya jika kesiapan dari sarana produksi tidak berfungsi dengan baik, oleh sebab itu diperlukan suatu program perawatan terpadu untuk mendukung sistem produksi yang baik serta mampu membuat produk yang di inginkan oleh perusahaan. Berikut gambaran hubungan antara perawatan dengan aktivitas proses produksi.



Gambar 2.1. Peranan Program Perawatan sebagai Pendukung Aktivitas Produksi.<sup>6)</sup>

5) Heizer, Jay. Render, Barry. 2005. *Operations Management*. Edisi 7, Salemba Empat, Jakarta, hal 8-10.

6) Vincent Gasperz. 2004. *Production Planning & Inventory control*, Gramedia Pustaka Utama, hal 4-5.

### 2.1.3. Tujuan Perawatan

Adapun tujuan dari perawatan antara lain :

1. Menekan periode kerusakan sampai batas minimum dengan mempertimbangkan aspek ekonomis.<sup>7)</sup>
2. Menghindari kerusakan tidak terencana dan kerusakan yang lebih parah/kerusakan tiba-tiba.<sup>8)</sup>
3. Untuk memperpanjang umur peralatan. Untuk menjamin kesiapan operasional dari seluruh peralatan yang diperlukan dalam keadaan darurat setiap waktu.
4. Agar mesin mampu bekerja optimal.
5. Untuk menjamin keselamatan operator yang menggunakan sarana tersebut.
6. Kemampuan produksi dapat memenuhi kebutuhan sesuai dengan rencana produksi.<sup>9)</sup>

### 2.1.4. Ruang Lingkup Perawatan

Pada dasarnya kegiatan perawatan dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu :

1. Perawatan tak terencana (*unplanned maintenance*)

Merupakan perawatan yang tidak direncanakan terlebih dahulu, disebabkan peralatan dan fasilitas produksi tidak memiliki rencana serta jadwal perawatan. Kegiatan perawatan ini juga disebut perawatan darurat (*emergency maintenance*) yang didefinisikan sebagai perawatan yang perlu dilaksanakan tindakan untuk mencegah akibat fatal, seperti : kerusakan besar pada peralatan, hilangnya produksi dan keselamatan kerja.

---

7) Gaspersz Vincent, op.cit., hal 10.

8) Setyono D, Sudjalwo. 2004. *Analisa Perawatan Mesin Gergaji Berdasarkan Frekuensi Perawatan Dengan Simuli Sistem. Lab. Statistika Industri Dan Penelitian Operasional Teknik Industri*. UMS, hal 78.

9) Assauri S. 1999. *Manajemen Produksi Dan Operasi*. Edisi : Revisi 1. Penerbit : FAKULTAS EKONOMI UI. Jakarta, hal 95.

## 2. Perawatan terencana (*planned maintenance*)

Merupakan kegiatan perawatan yang mengacu pada rencana yang telah disusun dan dilaksanakan serta didokumentasikan berdasarkan orientasi ke masa depan dan dapat dibagi ke dalam aktivitas :

### a. Perawatan pencegahan (*preventive maintenance*)

Kegiatan pemeliharaan dan perawatan untuk mencegah timbulnya kerusakan-kerusakan tidak terduga dan menemukan kondisi atau keadaan yang menyebabkan fasilitas produksi mengalami kerusakan pada waktu proses produksi dan mencegah menurunnya fungsi peralatan dan fasilitas, misalnya : memberi pelumas, menyetel mesin. Bagian utama dari perawatan ini adalah meliputi pemeriksaan berdasarkan pada "*lihat, rasakan dan dengarkan*" dan penyetelan minor pada selang waktu yang telah ditentukan serta penggantian komponen minor yang ditemukan perlu diganti pada saat pemeriksaan (meliputi reparasi minor, terutama untuk rencana jangka pendek, yang mungkin timbul diantara pemeriksaan, juga *overhaul* terencana).

Di dalam prakteknya, perawatan preventif dibagi 2 yaitu :

#### 1. Perawatan rutin :

Adalah kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan secara rutin setiap hari, yaitu dengan pembersihan peralatan, pelumasan, pengecekan oli, pengecekan bahan bakar.

#### 2. Perawatan periodik

Adalah kegiatan yang dilakukan secara periodik atau jangka waktu yang tertentu, seperti : memeriksa komponen-komponen peralatan.

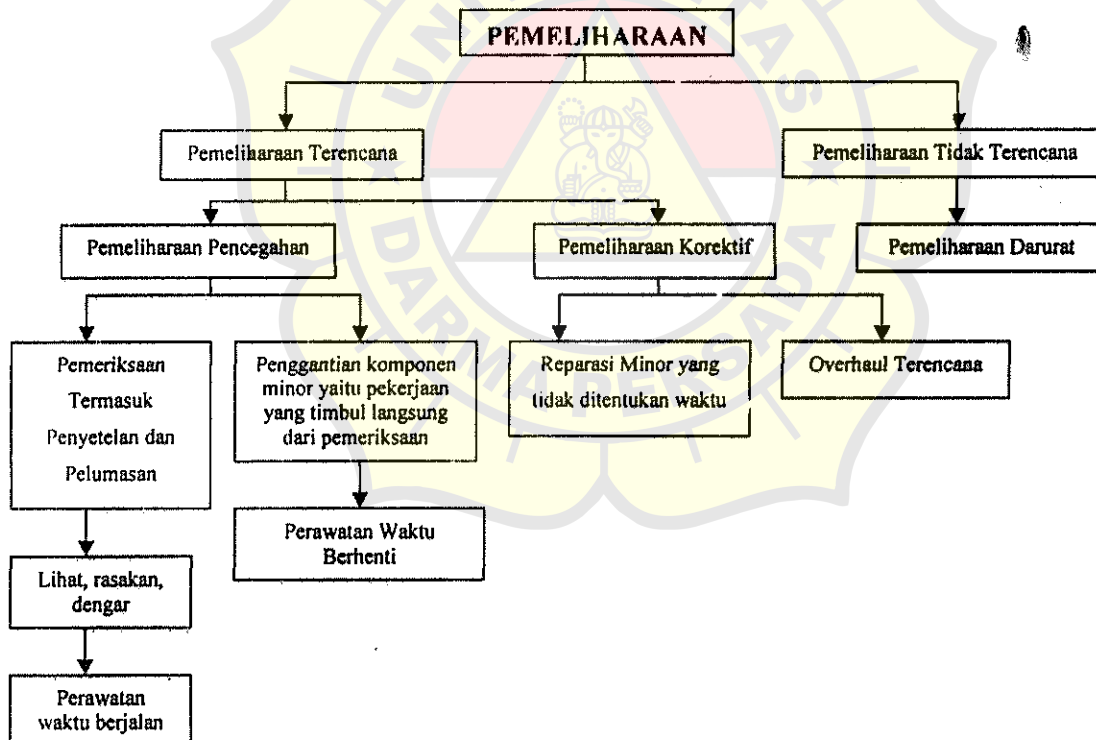
Adapun keuntungan yang didapat dari pemakaian program-program preventif adalah :

- Keamanan terjamin.
- Proses produksi jarang terhenti
- Peralatan cadangan yang digunakan lebih sedikit.
- Reparasi yang besar dan berulang-ulang berkurang
- Biaya yang dikeluarkan lebih sedikit karena reparasi diperlukan hanya bagian yang sederhana sebelum terjadi kerusakan.

b. Perawatan perbaikan (*corrective maintenance*)

Kegiatan perawatan yang sudah direncanakan berupa penggantian komponen yang sudah tidak berfungsi. Perawatan korektif dapat berupa perbaikan nyata (*real*) yang tidak ditemukan pada saat pemeriksaan, seperti : penggantian komponen secara serentak, juga perbaikan menyeluruh (*overhaul*) terencana.

Berikut hubungan bentuk perawatan dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. Hubungan antara berbagai bentuk pemeliharaan.<sup>10)</sup>

10) Antony Corder. 1996. *Teknik Manajemen Pemeliharaan*, Erlangga, Jakarta, hal 5.

### 2.1.5. Elemen Waktu Perawatan

Di dalam bidang perawatan terdapat beberapa pengertian tentang waktu,<sup>11)</sup> yaitu :

a. Waktu operasi :

Waktu yang dipergunakan oleh sistem untuk melakukan kegiatan operasi.

b. Waktu *delay* :

Waktu dimana sistem dalam keadaan menganggur tetapi sistem tidak dalam keadaan melakukan kegiatan.

c. *Downtime* :

Total waktu dimana sistem tidak melakukan kegiatannya disebabkan sistem mengalami kerusakan.

Untuk *downtime* dapat disebabkan karena sistem berada dalam keadaan perbaikan pada saat terjadi kerusakan atau pada saat sistem berada dalam keadaan perawatan yang lain. Waktu menunggu saat sistem akan dilakukan perawatan juga termasuk *downtime*.

### 2.1.6. Jenis Pekerjaan Perawatan

Adapun jenis dari pekerjaan perawatan adalah<sup>12)</sup> :

1. *Failure Based Maintainability* (FBM)

Adalah perawatan yang dilakukan apabila peralatan rusak.

2. *Design Out Maintainability* (DOM)

Adalah penyesuaian peralatan untuk memudahkan perawatan.

3. *Opportunity Based Maintainability* (OBM)

Adalah perawatan yang dilakukan pada waktu yang direncanakan.

4. *Used Based Maintainability* (UBM)

Adalah perawatan yang dilakukan pada operasi dalam waktu tertentu atau pada jumlah hasil tertentu.

---

11) Gaspersz Vincent, op.cit., hal 15.

12) Ebeling E, op.cit., hal 207.

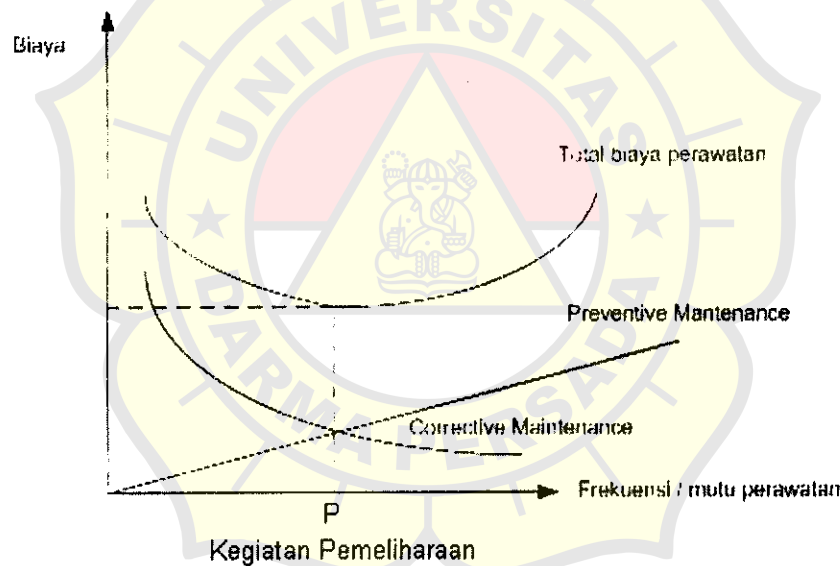


## 5. *Condition Based Maintenance (CBM)*

Adalah perawatan yang dilakukan apabila kondisi peralatan melewati batas ketahanan yang diperlakukan sebelumnya

### 2.1.7. Aspek-aspek Dalam Perawatan

Bila perawatan dilakukan pada interval waktu yang pendek akan mengakibatkan biaya perawatan yang besar dan biaya kerusakan yang kecil. Akan tetapi bila perawatan dilakukan pada interval waktu yang relative panjang mengakibatkan biaya kerusakan yang besar dan biaya perawatan yang kecil. Oleh karena itu perlu suatu tindakan perawatan yang optimal ditinjau dari biaya perawatan maupun biaya kerusakan. Menurut Sukanto (1991) hal tersebut dapat dijelaskan dengan gambar :



Gambar 2.3 Kurva Optimalitas Biaya.<sup>13)</sup>

Titik optimal P menunjukkan tingkat perawatan yang seharusnya diberikan. Berkaitan dengan hal tersebut, terdapat dua hal yang perlu diperhatikan dalam melaksanakan kegiatan perawatan, yaitu:

13) Sukanto Reksohadiprodjo, op.cit., hal 346.



## 1. Aspek Teknik

Ditekankan pada masalah yang menyangkut usaha-usaha untuk menghilangkan kemungkinan timbulnya kemacetan akibat dari kondisi mesin yang tidak baik. Tujuan yang ingin dicapai adalah untuk menjaga atau menjamin agar proses produksi dapat berjalan dengan baik dan lancar, dan untuk mencapai tujuan tersebut ada beberapa hal yang perlu diperhatikan:

- Tindakan apa yang harus dilakukan untuk memelihara peralatan / mesin yang ada dan untuk memperbaiki mesin-mesin yang rusak.
- Alat-alat atau komponen apa yang dibutuhkan dan harus disediakan untuk tindakan pemeliharaan dan perbaikan mesin-mesin yang rusak.

Selain itu menentukan tindakan yang harus dilakukan, kapan dilaksanakan pemeliharaan *preventive* dan kapan pemeliharaan *corrective* sehingga efisiensi biaya, waktu, tenaga kerja yang ada dapat diperoleh. Jadi pada prinsipnya masalah teknis ini, semua mesin / peralatan yang rusak harus diperbaiki. Untuk perbaikan tersebut, semua tindakan harus dilakukan secara teknis tidak dapat dihindarkan.

## 2. Aspek Ekonomis

Yang ditekankan adalah efisiensi, yaitu dengan memperhatikan besarnya biaya yang dibutuhkan dan alternatif tindakan yang dipilih harus menguntungkan perusahaan. Biaya yang perlu dibandingkan adalah:

- Besarnya biaya-biaya kerusakan yang terjadi karena tidak adanya perawatan pencegahan dengan besar biaya akibat kerusakan yang terjadi walaupun telah dilakukan perawatan pencegahan.
- Biaya perawatan yang akan dikeluarkan dengan harga peralatan tersebut.
- Biaya pemeliharaan dan perawatan peralatan dengan jumlah kerugian karena rusak selama proses produksi berlangsung.
- Biaya perawatan dengan biaya penggantian bila dibutuhkan untuk penggantian.

Dari kedua hal tersebut, dapat diketahui bahwa meskipun secara teknik perawatan pencegahan itu penting dan perlu dilaksanakan untuk menjaga kelancaran proses produksi. Tetapi kalau diperhatikan secara ekonomis, belum tentu perawatan pencegahan yang terbaik itu perlu dilaksanakan untuk setiap mesin. Hal utama yang perlu diperhatikan adalah menentukan biaya yang optimal dalam melakukan perawatan sehingga dapat menekan besarnya pengeluaran dan meningkatkan kinerja perusahaan.

## 2.2. Keandalan

### 2.2.1. Definisi Keandalan

Keandalan dapat didefinisikan sebagai peluang atau probabilitas suatu unit atau sistem berfungsi normal jika digunakan menurut kondisi operasi tertentu untuk suatu periode waktu tertentu<sup>14)</sup>. Dengan kata lain, keandalan dapat diartikan sebagai probabilitas dari peralatan yang berfungsi baik selama melaksanakan tugasnya.

Adapun menurut pendapat pakar mengartikan bahwa keandalan adalah:

“Kemungkinan (probabilitas) bahwa suatu sistem akan tetap memenuhi unjuk kerjanya (*performances*) atas persyaratan fungsional tanpa kegagalan pada suatu kondisi operasi tertentu dan pada suatu periode tertentu.”<sup>15)</sup>

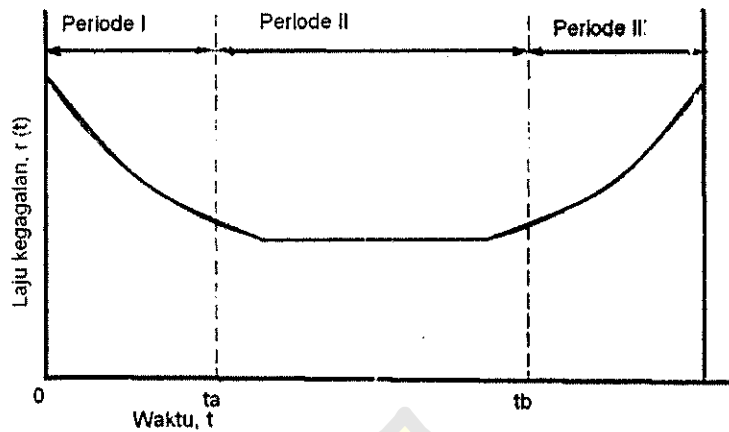
### 2.2.2. Kurva Laju Kegagalan

Laju kegagalan adalah kerusakan suatu produk per unit ukuran tertentu, misalnya per waktu tertentu, per jarak tempuh tertentu atau perputaran tertentu. Kurva laju kegagalan dikenal dengan nama kurva bak mandi. Kurva ini polanya akan berubah-ubah sejalan dengan bertambahnya waktu. Hal ini dapat dijelaskan pada gambar 2.4 sebagai berikut :

---

14) Gaspersz Vincent. 1996. *Analisis Sistem Terapan*, Edisi 1. Penerbit : TARSITO. Bandung, hal 516.

15) Assauri S. *op.cit.*, hal 96.



Gambar 2.4 Kurva Bak Mandi.<sup>16)</sup>

1. Periode I yang berada dalam interval waktu 0 sampai  $t_a$ , ( $0 < t < t_a$ ), sering disebut sebagai "*infant period*". Periode ini menjelaskan bahwa alat-alat yang baru diproduksi oleh pabrik apabila digunakan pada mulanya untuk suatu masa tertentu memiliki tingkat kerusakan tertentu (tidak nol). Terdapat beberapa alasan munculnya kegagalan operasi suatu komponen pada periode I ini, antara lain :
  - a. Pengendalian mutu di pabrik yang kurang baik.
  - b. Metode pemrosesan di pabrik yang kurang baik.
  - c. Penggunaan material dan pekerja yang berada di bawah standar.
  - d. "*Start-up*" dan instalasi yang salah.
  - e. Kesukaran - kesukaran dalam perakitan.
  - f. "*Debugging*" yang tidak tepat.
  - g. Kesalahan-kesalahan manusia dan proses
  - h. Metode penanganan yang kurang baik dan kesalahan dalam pengepakan (*packaging*)

Dilihat dari bentuk kurva dalam Gambar 2.4, ternyata periode I dapat didekati menggunakan distribusi weibull. Laju kegagalan dalam periode I bersifat menurun.

<sup>16)</sup> Gaspersz Vincent, op.cit.1, hal 52).

2. Periode II yang berada dalam interval waktu  $t_a$  sampai dengan  $t_b$ , ( $t_a < t < t_b$ ), sering disebut sebagai "*useful life period*" yang merupakan suatu periode masa pakai alat dengan laju kegagalan komponen yang bersifat konstan (stabil).

Terdapat beberapa alasan munculnya kerusakan dalam periode II, antara lain :

- a. Kerusakan-kerusakan yang tidak dapat dijelaskan (tidak menentu).
- b. Kesalahan manusia, melampaui masa pakai, kerusakan secara alamiah.
- c. Kerusakan yang tidak dapat dihindarkan, dalam hal ini perawatan preventif menjadi tidak bermanfaat.
- d. Cacat yang tidak dapat ditemukan.
- e. Faktor-faktor keamanan yang rendah (kurang baik).
- f. Tekanan-tekanan yang timbul secara acak melebihi daripada yang diharapkan

Kurva kegagalan dalam periode II dapat didekati menggunakan distribusi weibull dan eksponensial.

3. Periode III yang berada pada masa setelah  $t_b$ , ( $t > t_b$ ) yang sering disebut sebagai "*wear-out period*", di mana laju kegagalan komponen pada periode ini cenderung meningkat. Beberapa alasan yang mendorong timbulnya kerusakan pada periode III, antara lain :

- a. Perawatan yang tidak tepat.
- b. Pemakaian yang salah karena gesekan (*friction*).
- c. Pemakaian karena komponen telah disimpan lama (*ageing*).
- d. Praktek "*overhaul*" yang salah.
- e. Berkarat (*corrosion*) serta kerusakan yang timbul secara perlahan-lahan (*creep*).
- f. Telah dirancang masa pakai produk yang pendek.

Kurva laju kegagalan dalam periode III dapat didekati menggunakan distribusi weibull dan normal.

Sehingga secara keseluruhan ketiga daerah laju kegagalan dipenuhi oleh distribusi weibull.

### 2.2.3. Uji Kecocokan Distribusi

Pengujian kecocokan distribusi masing-masing waktu antar kerusakan didasarkan atas konsep *probability plotting*, dimana *plotting data* tiap-tiap data waktu antar kerusakan yang ada bila tepat mengikuti pola suatu garis lurus maka dapat dikatakan data yang bersangkutan telah memenuhi karakteristik suatu distribusi tertentu. Koefisien determinasi merupakan suatu ukuran tentang seberapa baik suatu garis lurus dapat mempresentasikan suatu data memiliki hubungan kejelasan tertentu dengan suatu hal.

Rumus untuk menentukan *index of fit*.<sup>17)</sup>

$$r^2 = \frac{[n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)]^2}{[n\sum x^2 - (\sum x)^2] \times [n\sum y^2 - (\sum y)^2]} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana  $r^2$  bernilai  $0 < r^2 \leq 1$

Distribusi masing-masing waktu antar kerusakan komponen didasarkan menurut koefisien determinasi ( $r^2$ ) yang paling baik dari distribusi yang digunakan.

### 2.2.4. Model Probabilistik Untuk Keandalan

Model probabilitas dari suatu alat merupakan langkah utama untuk yang harus diketahui untuk menghitung keandalan dari suatu alat. Model probabilitas ini biasanya dinyatakan dengan distribusi statistik. Distribusi yang biasa digunakan adalah distribusi eksponensial, distribusi Weibull, dan distribusi normal.<sup>18)</sup>

#### 2.2.4.1. Distribusi eksponensial

Distribusi eksponensial banyak digunakan dalam bidang statistik terutama teori keandalan dan teori antrian. Distribusi ini digunakan untuk menentukan kegagalan mesin yang disebabkan oleh kegagalan / kerusakan salah satu

17) Ebeling. E, op.cit., hal 365.

18) Irwin Miller & Jhon E.Freund. 1982. *Probability and Statistic for Engineers*, hal 306-309.

komponennya.

Fungsi padat peubah acak kontinu  $x$  berdistribusi eksponensial dengan parameter  $\beta$  ialah :

$$f(x) = \frac{1}{\beta} \cdot e^{-x/\beta}, \text{ jika } x > 0 \text{ dan } \beta > 0 \dots\dots\dots(2.2)$$

Harga-harga keandalan untuk distribusi eksponensial adalah sebagai berikut :

a. Fungsi padat probabilitas (*probability density function*)

$$f(t) = \lambda \cdot \exp(-\lambda \cdot t) \dots\dots\dots(2.3)$$

dimana  $t \geq 0$

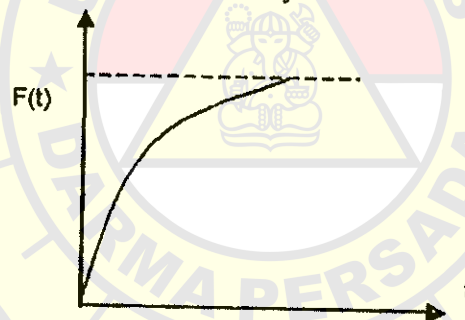
$\lambda$  = laju kerusakan rata-rata

$1/\lambda$  = distribusi rata-rata

b. Fungsi distribusi kumulatif (*cumulative distribution function*)

$$F(t) = 1 - \exp(-\lambda \cdot t) \dots\dots\dots(2.4)$$

Berikut adalah bentuk dari kurvanya :

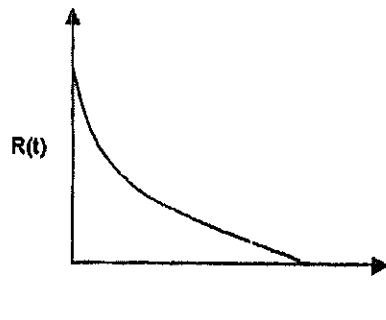


Gambar 2.5 Kurva distribusi kumulatif eksponensial

c. Fungsi keandalan

$$R(t) = \exp(-\lambda \cdot t) \dots\dots\dots(2.5)$$

Berikut adalah bentuk dari kurvanya :

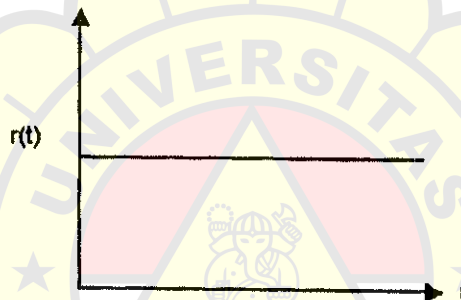


Gambar 2.6 Kurva fungsi keandalan eksponensial

d. Laju kegagalan

$$R(t) = \lambda \dots\dots\dots(2.6)$$

Berikut adalah bentuk dari kurvanya :



Gambar 2.7 Kurva laju kegagalan eksponensial

#### 2.2.4.2. Distribusi Weibull

Salah satu fungsi yang sering digunakan untuk menguraikan kerusakan yang disebabkan oleh adanya *fatigue* dari peralatan khususnya peralatan mekanik. Distribusi weibull digunakan untuk laju kerusakan yang meningkat dan menurun yang dikarakteristikan dalam kegagalan mesin yang kompleks dan sifatnya dapat dibuat mendekati secara tepat kejadian observasi.

Fungsi padat peubah acak kontinu  $T$  berdistribusi weibull dengan paramater  $\alpha$  dan  $\beta$  ialah :

$$F(x) = \alpha \beta \cdot X^{\beta-1} \cdot e^{-\alpha x}, \text{ jika } x > 0, \alpha > 0, \beta > 0 \dots\dots\dots(2.7)$$



Harga keandalan untuk distribusi weibull adalah sebagai berikut :

a. Fungsi padat probabilitas (*probability density function*)

Adalah peluang dimana kerusakan akan berlangsung pada periode tertentu. Rumus fungsi padat probabilitas untuk distribusi Weibull yaitu :

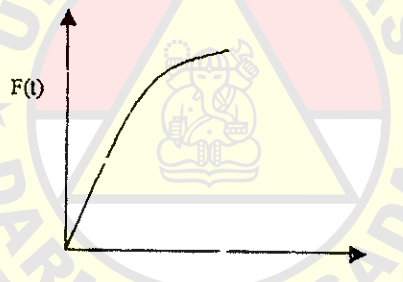
$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \times \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}\right] \text{ dimana } t > 0, \beta > 0 \text{ dan } \eta > 0 \dots\dots\dots(2.8)$$

b. Fungsi distribusi kumulatif (*cumulative distribution function*)

Adalah probabilitas terjadinya kerusakan sebelum waktu (ti). Rumus fungsi distribusi kumulatif untuk distribusi Weibull

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}\right] \dots\dots\dots(2.9)$$

Berikut adalah bentuk dari kurvanya :



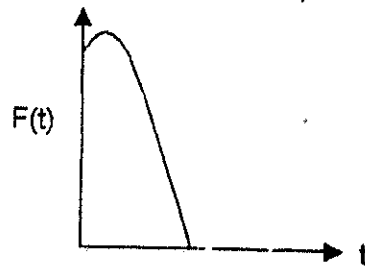
Gambar 2.8 Kurva fungsi distribusi kumulatif weibull

c. Fungsi Keandalan

Fungsi ini dapat disebut juga sebagai fungsi yang menunjukkan ketahanan dari suatu mesin untuk bekerja dalam periode waktu tertentu. Rumus fungsi keandalan untuk distribusi Weibull adalah :

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}\right] \dots\dots\dots(2.10)$$

Berikut adalah bentuk dari kurvanya :



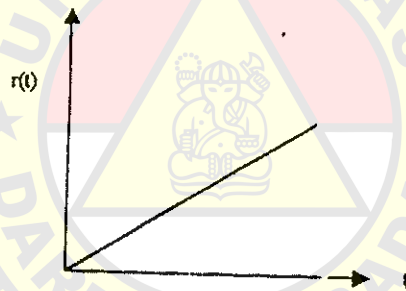
Gambar 2.9 Kurva fungsi keandalan weibull

d. Fungsi Laju kerusakan / kegagalan

Adalah alternatif dalam menggambarkan distribusi kerusakan. Rumus laju kerusakan untuk distribusi Weibull adalah :

$$r(t) = \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t}{\eta} \right)^{\beta-1} \dots\dots\dots(2.11)$$

Berikut adalah bentuk dari kurvanya :



Gambar 2.10 Kurva laju kegagalan weibull

### 2.2.4.3 Kemampuan Rawat Distribusi Weibull

#### 1. Menentukan Kemampuan Perawatan (*Maintainability*)

Untuk menentukan peluang dari suatu alat akan beroperasi kembali dalam periode perawatan tertentu, sebelumnya dilakukan perhitungan dengan langkah-langkah sebagai berikut <sup>19)</sup> :

##### a. Plot Distribusi Weibull

$$x_i = \ln t_i \dots \dots \dots (2.12)$$

$$y_i = \left[ \ln \left[ \ln \left( \frac{1}{1 - F(t_i)} \right) \right] \right] \dots \dots \dots (2.13)$$

$$F(t_i) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4} \dots \dots \dots (2.14)$$

##### b. Menentukan persamaan garis $\hat{Y} = a + b.X$

Apabila waktu reparasi dan waktu operasi sesuai dengan asumsi dari distribusi.

$$b = \frac{n \sum (x_i \cdot y_i) - \sum x_i \cdot \sum y_i}{n \cdot \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}; \beta = b \dots \dots \dots (2.15)$$

$$a = \frac{\sum y_i}{n} - b \cdot \frac{\sum x_i}{n}; \gamma = a \dots \dots \dots (2.16)$$

##### c. Menentukan $\eta$ sebagai parameter skala dalam distribusi Weibull

$$\eta = e^{-\gamma/\beta} \dots \dots \dots (2.17)$$

$\eta$  = Parameter skala yang mempunyai nilai rata-rata dan penyebaran dari distribusi,  $\eta > 0$ .

$\gamma$  = Parameter bentuk,  $\gamma <$  waktu kegagalan pertama.

$\beta$  = Parameter bentuk, dimana nilai  $\beta$  mempunyai bentuk kurva (laju kerusakan naik atau turun),  $\beta > 0$ .

19) Ebeling, E, op.cit., hal 287.

Nilai-nilai parameter  $\beta$  dalam Distribusi Weibull:

- $0 < \beta < 1$  = fungsi kerusakan menurun / *Decreasing Failure Rate* (DFR).
- $\beta = 1$  = fungsi kerusakan konstan / *Constant Failure Rate* (CFR) atau sesuai dengan distribusi eksponensial.
- $1 < \beta < 2$  = fungsi kerusakan meningkat / *IFR (Increasing Failure Rate)* dan berbentuk konkaf.
- $\beta = 2$  = fungsi kerusakan linier / *Linier Failure Rate* (LFR) dan membentuk Distribusi Rayleigh.
- $\beta > 2$  = Bertambah pada peningkatan fungsi kerusakan (konvex).
- $3 \leq \beta \leq 4$  = fungsi kerusakan meningkat atau ekuivalen dengan kurva berbentuk simetris atau distribusi normal.
- Menentukan rata-rata waktu perbaikan dan waktu kerusakan.

$$MTTR / MTTF = \gamma + \eta \Gamma \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right) \dots \dots \dots (2.18)$$

MTTR (Mean Time To Repair) = Rata-rata waktu perbaikan.

MTTF (Mean Time To Failure) = Rata-rata waktu antar kerusakan.

$\Gamma = \Gamma(x)$  = Tabel Fungsi gamma.

- d. Menentukan fungsi-fungsi keandalan

Langkah-langkah penentuannya sesuai dengan penentuan harga keandalan yang telah disebut sebelumnya.

## 2. Mann test Untuk Distribusi Weibull

Uji ini digunakan untuk membuktikan waktu reparasi dan waktu operasional berdistribusi Weibull. Distribusi ini dibuat oleh Mann Shaffer (1974) khusus untuk data yang berdistribusi Weibull dimana pengujian statistiknya adalah sebagai berikut:

$$M = \frac{k_1 \sum_{i=K_1+1}^{r-1} \left[ \frac{\text{Int}_{i+1}}{M_i} \right]}{k_2 \sum_{i=1}^k \left[ \frac{\text{Int}_{i+1}}{M_i} \right]} \dots\dots\dots(2.19)$$

Dimana :

$$k_1 = \left\lfloor \frac{r}{2} \right\rfloor, k_2 = \left\lfloor \frac{r-1}{2} \right\rfloor \dots\dots\dots(2.20)$$

$$M_i = Z_{i+1} - Z_i \dots\dots\dots(2.21)$$

$$Z_i = \ln \left[ -\ln \left( 1 - \frac{i-0,5}{n+0,25} \right) \right] \dots\dots\dots(2.22)$$

Ho = Waktu kerusakan berdistribusi Weibull (M < Ftabel).

Hi = Waktu kerusakan tidak berdistribusi Weibull (M > F tabel).

**2.2.4.3. Distribusi Normal**

Distribusi normal ini memiliki kurva seperti lonceng dengan dua parameter pembentuk yaitu  $\mu$  dan  $\sigma$ . Distribusi ini akan digunakan jika efek kerandoman (misalnya waktu hingga kegagalan) adalah konsekuensi dari sejumlah besar variasi-variasi random yang kecil-kecil dan independen.

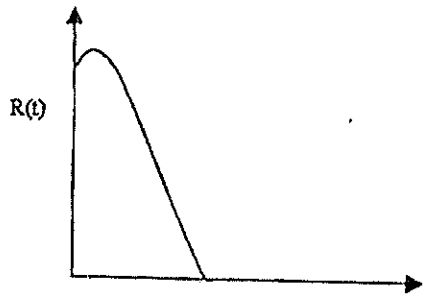
Fungsi padat peubah acak normal (x) dengan rata-ran  $\mu$  dan variansi  $\sigma^2$  ialah :

$$f(x, \mu, \sigma^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left[ \frac{x-\mu}{\sigma} \right]^2} \dots\dots\dots(2.23)$$

dimana  $\pi = 3.14159$  dan  $e = 2.71828$

$$R(t) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_t^{\infty} \exp \left[ -\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2} \right] dt \dots\dots\dots(2.24)$$

Harga-harga keandalan untuk distribusi normal adalah sebagai berikut :

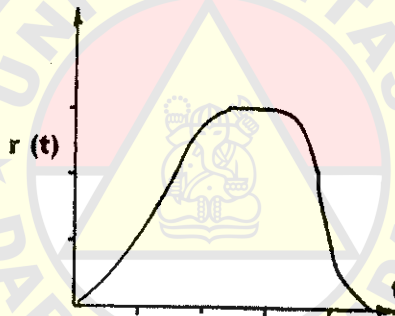


Gambar 2.12 Kurva fungsi keandalan normal

d. Rumus fungsi laju kerusakan :

$$r(t) = \frac{\exp\left[-(t-\mu)^2/2\sigma^2\right]}{\int_0^t \exp\left[-(t-\mu)^2/2\sigma^2\right]} = \frac{f(t)}{R(t)} \dots\dots\dots(2.31)$$

Berikut adalah bentuk dari kurvanya :



Gambar 2.13 Kurva laju kegagalan normal

**2.2.4.5. Kemampuan Rawat Distribusi Normal**

1. Menentukan Kemampuan Perawatan (*Maintainability*)

Untuk menentukan rata-rata peluang dari suatu alat akan beroperasi kembali dalam periode perawatan tertentu, sebelumnya dilakukan perhitungan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

a. Plot Distribusi Normal

$$F(t_i) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4} \dots\dots\dots(2.32)$$

$$x_i = t_i \dots\dots\dots(2.33)$$

$$y_i = z_i = \Phi F(t_i) \dots\dots\dots(2.34)$$

- b. Menentukan persamaan garis  $\hat{Y} = a + b.X$

Apabila waktu reparasi dan waktu antar kerusakan sesuai dengan asumsi dari distribusi maka :

$$b = \frac{n \sum (x_i \cdot y_i) - \sum x_i \cdot \sum y_i}{n \cdot \sum x^2 - (\sum x)^2}; \beta = b \dots\dots\dots(2.35)$$

$$a = \frac{\sum y_i}{n} - b \cdot \frac{\sum x_i}{n} \dots\dots\dots(2.36)$$

- c. Menentukan parameter untuk distribusi normal

$$\text{Parameter } \mu = -\frac{a}{b} ; \text{ Parameter } \sigma = \frac{1}{b} \dots\dots\dots(2.37)$$

- d. Menentukan rata-rata waktu perbaikan dan waktu kerusakan berdistribusi normal.

$$\text{MTTR} / \text{MTTF} = \mu \dots\dots\dots(2.38)$$

MTTR (Mean Time To Repair) = Rata-rata waktu perbaikan.

MTTF (Mean Time To Failure) = Rata-rata waktu kerusakan.

- e. Menentukan fungsi-fungsi perawatan dan keandalan

Sesuai dengan penentuan harga keandalan yang telah dibahas sebelumnya.

## 2. Kolmorov – Smirnov test untuk Distribusi Normal

Uji ini digunakan untuk membuktikan waktu reparasi dan waktu operasional berdistribusi normal. Uji kecocokan ini dikemukakan oleh A. Kolmorov dan N.V Smirnov dan dikembangkan oleh H.W Liliefors pada tahun 1967 yang dalam perhitungannya digunakan untuk mengetahui apakah



distribusi hasil pengamatan sesuai dengan *expected normal frequencies distribution*.

Hipotesanya adalah :

Ho : *failure time* berdistribusi normal

Hi : *failure time* tidak berdistribusi normal

Tes statistiknya adalah  $D_n = \max \{D_1, D_2\}$  dimana:

$$D_1 = \max \left\{ -\Phi \frac{t_1 - 1}{s} - \frac{i - 1}{n} \right\} \dots\dots\dots(2.39)$$

$$D_2 = \max \left\{ \frac{i}{n} - \Phi \left( \frac{t_i - t}{s} \right) \right\} \dots\dots\dots(2.40)$$

$$\bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} \dots\dots\dots(2.41)$$

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}{n - 1} \dots\dots\dots(2.42)$$

Jika  $D_n > D_{crit}$  maka Ho diterima, sebaliknya apabila  $D_n < D_{crit}$  maka Hi diterima.

**2.2.5. Penentuan Interval Waktu Perawatan**

Untuk komponen yang memiliki distribusi kegagalan mengikuti distribusi peluang tertentu dengan fungsi peluang  $f(t)$ , maka nilai harapan banyaknya kegagalan yang terjadi dalam interval waktu  $(0, t_p)$ .<sup>20)</sup>

$$H(t_p) = \sum_{i=0}^{t_p - 1} [1 + H(t_p - 1 - i)] \int_i^{i+1} f(t) dt \dots\dots\dots(2.43)$$

dengan  $H(0) = 0$ . Jadi  $t_p = 0$ , maka  $H(t_p) = H(0) = 0$ .

Misalnya  $t_p = 1$ , maka nilai harapan banyaknya kegagalan (kerusakan) komponen sistem dalam interval waktu  $(0, 1)$  sebagai berikut :

20) Gaspersz Vincent. op.cit.1, hal 528.

$$H(1) = [1 + H(0)] \int_0^1 f(t) dt$$

Selanjutnya apabila  $t_p = 2$ , maka nilai harapan banyaknya kegagalan (kerusakan) komponen sistem dalam interval waktu (0,2) sebagai berikut :

$$H(2) = [1 + H(1)] \int_0^1 f(t) dt + [1 + H(0)] \int_1^2 f(t) dt$$

Jika suatu komponen sistem itu memiliki distribusi kegagalan mengikuti distribusi normal  $X \sim N(\mu, \sigma^2)$ , dengan fungsi kepekatan peluang, maka :

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp - \left[ \frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2} \right] \dots\dots\dots (2.44)$$

untuk nilai harapan dari banyaknya kegagalan komponen sistem dalam interval waktu (0,  $t_p$ ) adalah :

$$H(t_p) = \sum_{i=0}^{t_p-1} [1 + H(t_p - 1 - i)] \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_i^{i+1} \exp - \left[ \frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2} \right] dt \dots\dots\dots (2.45)$$

Untuk suatu fungsi kegagalan yang menyebar mengikuti distribusi normal  $X \sim N(\mu, \sigma^2)$ , maka bentuk integral dari fungsi normal dalam interval waktu tertentu ( $t_1, t_2$ ) adalah :

$$\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{t_1}^{t_2} \exp - \left[ \frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2} \right] dt = F \left[ \frac{t_2 - \mu}{\sigma} \right] - F \left[ \frac{t_1 - \mu}{\sigma} \right] \dots\dots\dots (2.46)$$

Dimana :  $F$  = Tabel Distribusi Normal Kumulatif Z atau Tabel  $\Phi(z)$

### 2.2.6. Penentuan Biaya Perawatan Terkecil Berdasarkan Interval Waktu

Biaya penggantian item-item terhadap kondisi tertentu dapat diasumsikan lebih rendah dari pada biaya untuk penggantian kerusakan. Dengan adanya perhitungan biaya maka kita dapat mengetahui jumlah biaya yang dikeluarkan untuk perawatan berdasarkan interval waktu. Sehingga kita mengetahui dengan pasti biaya

yang paling rendah pada periode ke- $t$ . Perkembangan dari masalah ini merupakan asumsi bahwa kebijaksanaan penggantian preventif harus selalu ada dalam interval waktu, dengan kerusakan terjadi serendah mungkin. Dan kita mengharapkan untuk mengetahui waktu yang optimal antara kegiatan penggantian preventif untuk meminimalkan total biaya penggantian preventif dalam satuan waktu. Apabila interval waktu yang optimal diperoleh, maka biaya perawatan yang paling minimum dapat diketahui. Total biaya penggantian per unit waktu dirumuskan dengan :

$$T_c(t_p) = \frac{\text{Ekspektasi total biaya penggantian}}{\text{Ekspektasi Panjang Siklus}}$$

dimana :

$$\text{Ekspektasi Total biaya penggantian : } C_p \times R(t_p) + C_f[1 - R(t_p)]$$

$$= (\text{biaya satu siklus preventif} * \text{peluang siklus preventif}) + (\text{biaya satu siklus failure} * \text{peluang siklus failure}).$$

Ekspektasi panjang siklus :

$$t_p \times R(t_p) + \int_0^{t_p} t f(t) dt \quad \text{dengan} \quad \int_0^{t_p} t f(t) dt = [M \times (t_p) + T_f][1 - R(t_p)]$$

$$= (\text{ekspektasi satu siklus preventif} * \text{peluang siklus preventif}) + (\text{ekspektasi satu siklus failure} * \text{peluang siklus failure}).$$

Sehingga, didapat rumus untuk total biaya minimum perawatan per unit waktu :

$$T_c(t_p) = \frac{C_p \times R(t_p) + C_f[1 - R(t_p)]}{t_p \times R(t_p) + [M \times (t_p) + T_f][1 - R(t_p)]} \dots\dots\dots(2.47)$$

Rumus di atas adalah suatu model yang berhubungan antara penggantian pencegahan pada saat  $t_p$  dengan total biaya penggantian per unit waktu

Konstruksi model :

$T_c(t_p)$  = Total Biaya Minimum Perawatan dalam interval waktu

$C_p$  = Biaya satu siklus preventif

$C_f$  = Biaya satu siklus failure

- $T_p$  = Waktu yang dibutuhkan untuk melakukan penggantian pencegahan  
 $T_r$  = Waktu yang dibutuhkan untuk melakukan penggantian karena kerusakan  
 $F(t)$  = Fungsi kepadatan peluang dari waktu kegagalan  
 $R(tp)$  = Banyaknya kerusakan dalam interval waktu  $(0, tp)$  merupakan nilai harapan  
 $tp$  = Interval waktu  
 $M(t_p) = \text{MTTF}$

Biaya penggantian satu *item* / satu komponen meliputi :

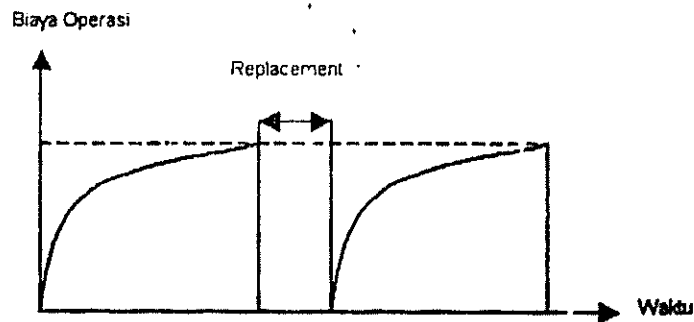
- Jumlah komponen yang diperlukan.
- Biaya pembelian komponen satu *item* /satu komponen.

Biaya penggantian kerusakan meliputi :

- Biaya tenaga kerja dan administrasi yang menganggur  
Biaya yang dikeluarkan pada saat mesin berhenti produksi / dalam kondisi rusak maka perusahaan akan tetap membayar operator mesin tersebut.
- Biaya mekanik  
Biaya yang dikeluarkan pada saat mesin mengalami kerusakan maka perusahaan membayar tenaga kerja mekanik.
- Biaya kehilangan kesempatan (*opportunity cost*) / keuntungan yang tidak diperoleh yaitu biaya pada saat mesin dalam kondisi rusak maka perusahaan kehilangan kesempatan memperoleh keuntungan sesuai dengan yang direncanakan.

### 2.2.7. Kebijakan Penggantian

Pada umumnya, kebijakan penggantian dan perawatan dapat diklasifikasikan atas persoalan deterministik dan probabilistik (stokastik). Penggantian deterministik terjadi jika waktu dan hasil tindakan penggantian tersebut diasumsikan telah diketahui secara pasti. Sebagai contoh adalah peralatan yang memiliki ongkos operasi yang meningkat sejalan dengan pertambahan waktu penggunaan. Masalah deterministik dapat digambarkan dalam diagram berikut ini



Gambar 2.14 Tindakan penggantian pada biaya operasi yang meningkat

Sedangkan penggantian probabilistik terjadi jika waktu dan hasil tindakan penggantian tidak dapat diketahui dengan pasti, melainkan bersifat “mungkin” tergantung pada kondisi tertentu. Dengan demikian, waktu antar kerusakan adalah suatu variabel acak (*random variable*) yang mungkin memiliki distribusi kerusakan tertentu. Untuk memperkirakan kondisi mesin, diperlukan tindakan perawatan pendahulu, yaitu tindakan pemeriksaan (*inspection*).

Dalam menentukan kapan tindakan penggantian komponen dilakukan, penentuan siklus waktu tindakan tersebut adalah hal yang harus dipertimbangkan. Karena terdapat berbagai kriteria tujuan pelaksanaan perawatan yang harus ditentukan terlebih dahulu, seperti kriteria maksimasi keuntungan, minimasi waktu kerusakan mesin, maksimasi ketersediaan mesin dan sebagainya.

Tindakan penggantian mengasumsikan bahwa setelah dilakukan penggantian, komponen akan kembali ke kondisi semula. Tindakan penggantian baru dapat dilakukan bila telah memenuhi kondisi berikut ini :

- Total ongkos penggantian karena kegagalan harus lebih besar daripada total ongkos pencegahan. Hal ini disebabkan karena penggantian kerusakan, waktu yang diperlukan untuk melakukan penggantian lebih besar (karena waktu pelaksanaan penggantian tidak terencana) atau kerusakan yang terjadi telah menyebar ke komponen-komponen lainnya.
- Laju kegagalan atau kerusakan komponen harus meningkat. Hal ini

disebabkan karena penggantian yang dilakukan pada kerusakan yang tidak meningkat hanya akan merupakan tindakan pemborosan yang tidak diperlukan. Karena itu, laju kerusakan yang mengikuti distribusi eksponensial dimana laju kerusakannya tidak konstan, tidak memerlukan tindakan penggantian. Dengan demikian, pengetahuan mengenai laju kerusakan peralatan yang akan diteliti sangat penting dalam menentukan kebijakan penggantian.

Berdasarkan waktu pelaksanaan, maka tindakan penggantian pencegahan dapat dibagi menjadi 2, yaitu :

1. Interval waktu penggantian

Tindakan penggantian pencegahan dilakukan pada interval waktu yang tetap. Dengan mengabaikan kerusakan-kerusakan atau tindakan-tindakan penggantian kerusakan yang terjadi dalam interval waktu tersebut.

2. Umur komponen

Tindakan penggantian pencegahan dilakukan pada interval waktu yang tetap, apabila tidak terjadi kerusakan dalam interval tersebut. Dan apabila terjadi kerusakan, maka penggantian kerusakan tersebut harus sesuai dengan interval yang telah ditentukan.