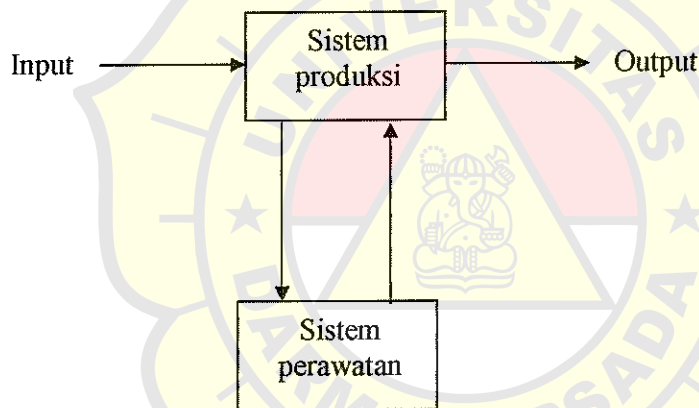


## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 PERANAN PERAWATAN

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. Keterkaitan sistem perawatan dengan sistem produksi dapat ditunjukkan dalam gambar II.1.



Gambar II.1

**Keterkaitan sistem perawatan dengan sistem produksi**  
 (Sumber:Gaspersz,Analisis Sistem Terapan,1992,hal 516)

#### 2.2 PENGERTIAN PERAWATAN

Terdapat bermacam-macam definisi mengenai pemeliharaan. Pengertian pemeliharaan menurut beberapa sumber adalah sebagai berikut :

- a. "Perawatan adalah kegiatan yang dilakukan untuk menjaga atau

mengembalikan kondisi perlengkapan pada kondisi standarnya.” (**Jardine, Maintenance Replacement and Reliability, 1973, hal. 3**)

b. “Sistem perawatan dapat dipandang sebagai sistem bayangan dari sistem produksi, dimana apabila sistem produksi beroperasi dengan kapasitas yang sangat tinggi maka perawatan akan menjadi intensif.” (**Gaspersz, Analisis Sistem Terapan, 1992, hal. 156**)

c. “Pemeliharaan dapat diartikan sebagai kegiatan untuk memelihara atau menjaga fasilitas / peralatan pabrik dan mengadakan perbaikan atau penyesuaian / penggantian yang diperlukan agar supaya terdapat suatu keadaan operasi produksi yang memuaskan sesuai dengan apa direncanakan.” (**Sofjan Assauri, Manajemen Produksi dan Operasi, 1999, hal. 95**)

d. “Pemeliharaan/perawatan dapat diartikan sebagai pekerjaan yang dilakukan untuk menjaga atau memperbaiki setiap fasilitas seperti: bagian dari pabrik, peralatan gedung beserta isinya sehingga mencapai standar yang dapat diterima.” (**Supandi, Manajemen Perawatan Industri, 1992, hal. 27**)

### 2.3 TUJUAN PERAWATAN

Tujuan dilakukannya pemeliharaan terhadap fasilitas-fasilitas produksi adalah sebagai berikut:

- a. Kemampuan produksi dapat memenuhi kebutuhan sesuai dengan rencana produksi
- b. Menjaga kualitas pada tingkat yang tepat untuk memenuhi apa yang dibutuhkan oleh produk itu sendiri dan kegiatan produksi yang tidak terganggu.

- c. Untuk membantu mengurangi pemakaian dan penyimpangan diluar batas dan menjaga modal yang diinvestasikan dalam perusahaan selama waktu yang ditentukan sesuai dengan kebijaksanaan perusahaan mengenai investasi tersebut.
- d. Untuk mencapai tingkat biaya pemeliharaan secara efektif dan efisien.
- e. Menghindari kegiatan pemeliharaan yang dapat membahayakan keselamatan para pekerja.
- f. Mengadakan suatu kerjasama yang erat dengan fungsi-fungsi utama lainnya dari suatu perusahaan dalam rangka untuk mencapai tujuan utama perusahaan, yaitu tingkat keuntungan yang sebaik mungkin dan total biaya yang terendah.” (Sofjan Assauri, **Manajemen Produksi dan Operasi**, 1999, hal. 95-96)

Pentingnya fungsi perawatan merupakan faktor yang dominan dalam industri. Tujuan menjalankan suatu industri adalah mendapatkan keuntungan industri tidak hanya harus memproduksi barang-barang yang dijual, tetapi juga harus dapat bersaing dipasaran.

Adapun tujuan utama perawatan menurut Corder adalah:

- a. Memperpanjang umur pakai dari peralatan produksi terutama bagi daerah-daerah yang kesulitan untuk mendapatkan komponen-komponen pengganti.
- b. Menjamin tingkat ketersediaan yang optimum dan fasilitas produksi dan mendapatkan pengembalian investasi semaksimal mungkin.
- c. Menjamin kesiapan operasional seluruh peralatan yang diperlukan untuk pemakaian darurat.

- d. Menjamin keselamatan operator atau pemakai fasilitas. (Conder, Teknik Manajemen Pemeliharaan, 1996, hal. 3)

## 2.4 JENIS-JENIS PERAWATAN

Pada dasarnya kegiatan perawatan dapat dibagi menjadi dua bagian besar yaitu (Balbir and Reiche, Reliability and Maintainability Management, 1985, hal 12 – 13)

- Perawatan Pencegahan (*Preventive Maintenance*)
- Perawatan Perbaikan (*Corrective Maintenance*)

### 2.4.1 Perawatan Pencegahan (*Preventive Maintenance*)

Adalah kegiatan perawatan yang dilakukan untuk mencegah terjadinya kerusakan-kerusakan yang tidak terduga sehingga dapat menyebabkan peralatan tersebut tidak dapat beroperasi sebagaimana mestinya. Perawatan jenis ini masih dapat dibagi lagi menjadi dua bagian yaitu:

#### a. Perawatan sistematis (*Systematic Maintenance*)

Yaitu perawatan pencegahan yang dilakukan pada waktu tertentu yang ditetapkan sebelumnya. Tujuan dari perawatan jenis ini adalah:

- Mendeteksi dan mencegah keausan atau kerusakan yang terlalu dini.
- Mencegah terjadinya penurunan kualitas dan kuantitas operasi.
- Mengurangi resiko terjadinya kerusakan pada komponen-komponen kritis.
- Mengurangi waktu yang tidak produktif dalam perbaikan atau *overhaul*.
- Mencegah penggunaan komponen dan energi yang berlebihan.
- Mengurangi penyebab terjadinya kerusakan atau kecelakaan.

- Mengurangi beban kerja total pada bagian perawatan.

Yang termasuk dalam jenis perawatan pencegahan sistematis adalah:

- Pemeriksaan komponen secara periodik.
- Berbagai tingkat *overhaul*.
- Pekerjaan bersifat rutin, misal pelumasan, pencucian, penyetelan dan sebagainya.

b. Perawatan berdasarkan kondisi (*Condition Based Maintenance*)

Yang disebut juga *Predictive maintenance*, yaitu perawatan pencegahan yang dilakukan dengan memperhatikan kondisi peralatan yang dioperasikan.

Perawatan jenis ini meliputi kegiatan-kegiatan sebagai berikut:

- Memperhatikan getaran atau suara yang terjadi dalam operasi.
- Memperhatikan kebocoran atau kerasi yang terjadi.

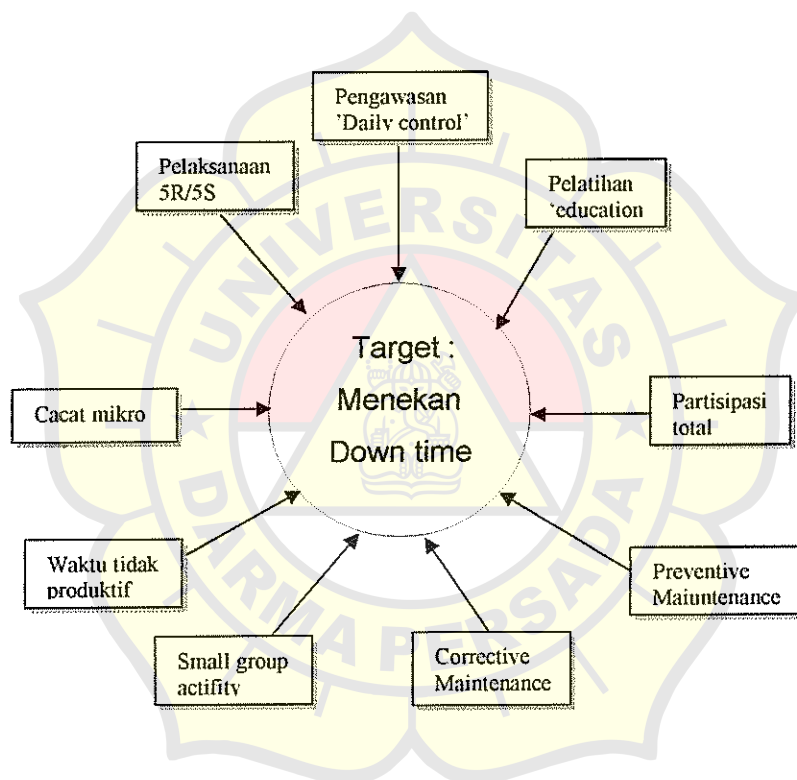
Dengan memperhatikan kondisi-kondisi tersebut, dapat dilakukan tindakan pencegahan untuk mencegah kerusakan yang lebih parah.

#### 2.4.2 Perawatan Perbaikan (*Corrective Maintenance*)

Adalah perawatan yang dilakukan setelah terjadi kerusakan atau sistem tidak dapat berfungsi dengan baik. Perawatan ini disebut juga dengan reparasi (*Repair Maintenance*) yang biasanya terjadi karena perawatan pencegahan tidak dilakukan atau perawatan pencegahan sudah dilakukan tetapi pada saat tertentu mesin tersebut tetap rusak.

## 2.5 FAKTOR – FAKTOR UNTUK MENEKAN DOWN TIME

Dalam manajemen perawatan secara menyeluruh mempunyai target bagaimana manajemen perawatan dapat menekan terjadinya down time seminimal mungkin sehingga aktifitas produksi secara keseluruhan dapat dilaksanakan dengan baik. Adapun faktor – faktor yang dapat menekan terjadinya down time dapat dilihat dalam gambar II.2.



**Gambar II.2**  
**Faktor – faktor untuk menekan down time**

## 2.6 PEMELIHARAAN TEMPAT KERJA DALAM LIMA LANGKAH

Lima langkah pemeliharaan tempat kerja dalam bahasa Jepang disebut sebagai 5S (Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu dan Shitsuke ). Dalam bahasa Indonesia lima langkah pemeliharaan tempat kerja ini disebut sebagai 5R (Ringkas, Rapi, Resik, Rawat dan Rajin). Adapun pengertian 5R dapat dijelaskan sebagai berikut : (Imai,Masaki,Gemba Kaizen,1998 hal60-61)

1. Ringkas: Membedakan antara yang diperlukan dan tak diperlukan di gema dan menyingkirkan yang tak diperlukan. Membuat tempat kerja ringkas, yang hanya menampung barang-barang yang diperlukan saja.
2. Rapi: Menata semua barang yang ada setelah ringkas, dengan pola yang teratur dan tertib.
3. Resik: Menjaga kondisi mesin yang siap pakai dan dalam keadaan bersih. Menciptakan kondisi tempat dan lingkungan kerja yang bersih.
4. Rawat: Memperluas konsep kebersihan pada diri pribadi dan terus menerus mempraktekkan tiga langkah terdahulu. Selalu berusaha menjaga keadaan yang sudah baik melalui standar.
5. Rajin: Membangun disiplin diri pribadi dan membiasakan diri untuk menerapkan 5R melalui norma kerja dan standardisasi.

Dalam memperkenalkan pemeliharaan tempat kerja, perusahaan Barat seringkali menggunakan anonim bahasa Inggris dari pada bahasa Jepang, seperti pada "Kampanye 5S" atau "Kampanye 5C".

**Kampanye 5S (di Amerika) : (Ibid,hal 61)**

1. *Sort* (memilah): Pisahkan barang yang tak diperlukan dan singkirkan.
2. *Straighten* (meluruskan): Letakkan barang yang diperlukan secara teratur sehingga mudah diambil.
3. *Scrub* (gosok): Bersihkan semuanya: peralatan, mesin dan tempat kerja, menghilangkan noda dan limbah serta menanggulangi sumber limbah.
4. *Systematize* (sistematisasi): Membuat rutin kegiatan membersihkan dan memeriksa.
5. *Standardize* (Standardisasi): Membakukan empat langkah sebelumnya dan membuatnya menjadi proses yang berkesinambungan.

**Kampanye 5C (di Inggris):**

1. *Clear out* (singkirkan): Tentukan yang diperlukan dan singkirkan yang tak diperlukan.
2. *Configure* (susun/tata): Siapkan tempat yang mudah, aman, dan teratur untuk semua barang.
3. *Clean and check* (bersihkan dan periksa): Periksa dan perbaiki keadaan tempat kerja sambil membersihkannya.
4. *Conform* (pastikan/patuhi): Tetapkan standar, latih dan jaga.
5. *Custom and practice* (kebiasaan dan praktek): Kembangkan pemeliharaan rutin dan kegiatan perbaikan lebih lanjut.



## 2.7 FUNGSI-FUNGSI DISTRIBUSI KERUSAKAN

Ada beberapa distribusi peluang continue yang umum digunakan untuk menyatakan waktu kegagalan / kerusakan mesin dan peralatan. Contoh distribusi kerusakan dibawah ini akan dijelaskan dalam teori keandalan sebagai berikut: (Irwin Miller, John E. Freund, *Probability and Statistic For Engineers*, 1982, hal 306 – 309).

### 2.7.1 Distribusi Normal

Distribusi normal merupakan distribusi terpenting dalam statistik yang menjadi dasar bagi banyak teori statistika induktif. Distribusi ini digunakan untuk komponen dengan variasi random independen dan pemakainya untuk situasi bila beberapa kerusakan wajib dipakai.

Fungsi padat peubah acak normal  $x$ , dengan rataaan  $\mu$  dan variasi  $\sigma^2$  ialah:

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

Dimana :  $\pi = 3,14159$

$e = 2,71828$

$$R(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^t \exp\left[-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] dt$$

Harga-harga keandalan untuk distribusi normal adalah sebagai berikut:

- Fungsi kepadatan kemungkinan

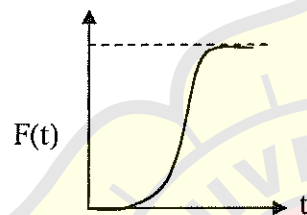
$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_t^0 \exp\left[-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]$$

Dimana  $-0 \leq t \leq 0$

$\mu$  adalah distribusi rata-rata

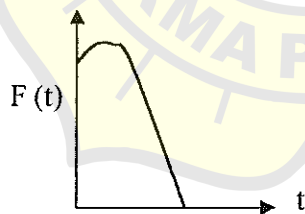
$\sigma$  adalah deviasi standar

- Fungsi distribusi kumulatif



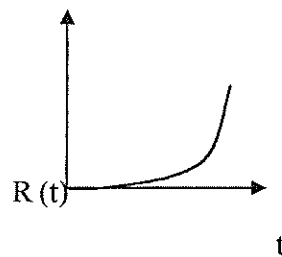
$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_t^0 \exp\left[-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] dt$$

- Fungsi keandalan



$$R(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_t^0 \exp\left[-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] dt$$

- Laju kegagalan



$$R(t) = \frac{\int_0^t \text{Exp}[-(t-\mu)^2 / 2\sigma^2] dt}{\int_0^t \text{Exp}[-(t-\mu)^2 / 2\sigma^2] dt}$$

### 2.7.2 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 komponennya.

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

$$f(x) = \frac{1}{\beta} \cdot e^{-x/\beta}$$

jika  $x > 0$  dan  $\beta > 0$

Harga-harga keandalan untuk distribusi eksponensial adalah sebagai berikut:

- Fungsi kepadatan

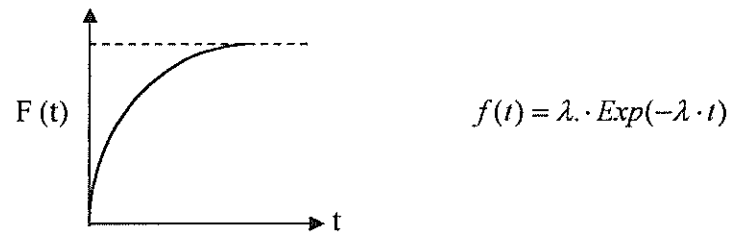
$$f(t) = \lambda \cdot \text{Exp}(-\lambda \cdot t)$$

dimana  $t \geq 0$

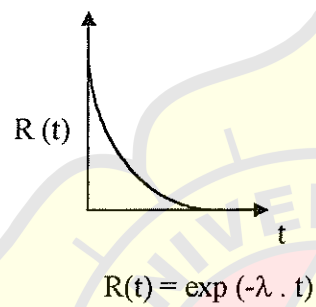
$\lambda$  adalah laju kerusakan rata-rata

$1/\lambda$  adalah distribusi rata-rata

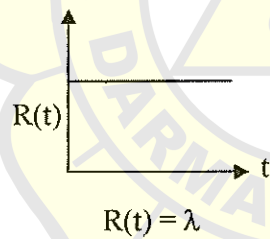
- Fungsi distribusi komulatif



- Fungsi keandalan



- Laju kegagalan



### 2.7.3 Distribusi Weibull

Distribusi Weibull digunakan untuk menangani banyak masalah keandalan dan uji umur komponen. Distribusi ini untuk menunjukkan karakteristik kegagalan mesin yang sangat besar (kompleks) dan sifatnya dapat dibuat mendekati secara tepat kejadian observasi.

Fungsi padat peubah acak kontinu  $T$  berdistribusi Weibull dengan parameter  $\alpha$  dan  $\beta$  ialah:

$$f(x) = \alpha \beta \cdot x^{\beta-1} \cdot e^{-x \cdot \beta}$$

Jika  $x > 0, \alpha > 0, \beta > 0$

Harga keandalan untuk distribusi Weibull adalah sebagai berikut:

- Fungsi kepadatan kemungkinan

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

Dimana  $t > 0$

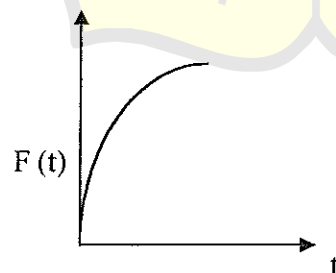
$\alpha$  adalah parameter skala perbandingan

$\alpha$  dan  $\beta$  adalah bernilai positif

jika  $\beta = 1$  maka Weibull ekivalen dengan distribusi eksponensial.

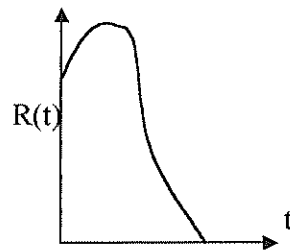
Jika  $\beta > 1$  maka Weibull ekivalen dengan distribusi normal.

- Fungsi distribusi komulatif



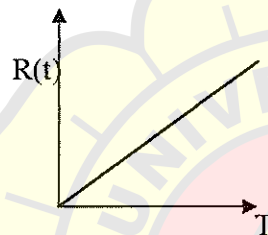
$$f(t) = 1 - \exp \left[ - \left[ \frac{t}{\alpha} \right]^{\beta} \right]$$

- Fungsi keandalan



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

- Laju kegagalan



$$R(t) = \frac{\beta}{\alpha} \left[\frac{t}{\alpha}\right]^{\beta-1}$$

## 2.8 UJI KRUSKAL-WALLIS

Uji kruskal – Wallis merupakan padanan bagi Analisis Ragam dalam metode parametric, sehingga uji ini dikenal dengan nama Analisis Ragam Satu Arah Kruskal – Wallis. (Wijaya, *Statistika Non Parametrik*, 2000, hal 64–65).

Dalam uji ini tidak diperlukan asumsi tentang kebebasan galat, ragam yang sama maupun distribusinya yang normal. Asumsi yang menjadi dasar pengujiannya adalah bahwa sampel yang diperbandingkan berasal dari distribusi

yang kontinu. Cara analisisnya adalah:

- Semua nilai pengamatan dan sampel digabung, kemudian dirangking.
- Menghitung jumlah rangking dari setiap sampel.
- Menghitung statistik yang digunakan adalah

$$H = \frac{12}{n(n+1)} \left[ \sum R_j^2 / n_i \right] - 3(n+1) \quad dbx^2 = k - 1$$

H : Mendekati distribusi  $x^2$  dengan  $dbx^2 = k - 1$

$n_i$  : Banyaknya nilai pengamatan pada tiap-tiap sampel

k : Banyaknya sampel yang diuji

$R_j$  : Jumlah rangking tiap sampel

n : Total pengamatan

Kriteria

- Jika  $K = 3$  dan  $n_i \geq 5$ , digunakan tabel harga kritis H Anova 'Rangking Satu Arah Kruskal – Wallis. Kaidahnya : Tolak  $H_0$  jika  $H \geq H_{table}$
- Jika  $n_i \geq 5$ , maka H didekati oleh  $x^2$  dengan  $db = k - 1$ . Kaidahnya : Tolak  $K_0$  jika  $H \geq x^2_{table}$  dengan taraf nyata  $\alpha$  dengan  $db = (k - 1)$ .

Jika terdapat skor yang sama, maka rangkingnya adalah rata-ratanya dan berlaku :

- Jika banyaknya skor yang sama  $> 25\%$ , dilakukan koreksi pembagian dengan  $t - [(\sum T)/(n^3 - n)]$  dimana  $\sum T = \sum (t^3 - t)$ .
- Jika banyaknya skor yang sama  $\leq 25\%$ , maka koreksi diabaikan.

## 2.9 PENGELOMPOKAN DATA KE DALAM BENTUK DISTRIBUSI

Data yang telah dikumpulkan kemudian dibuat frekuensi, adapun langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

- a. Menghitung Range

$$R = \text{Nilai maksimum} - \text{nilai minimum}$$

- b. Menghitung jumlah kelas interval berdasarkan rumus Strugges, yaitu kelas Interval

$$(k) = 1 + 3,3 \log N$$

- c. Menentukan panjang interval kelas

$$L = R / k$$

Dimana :  $i$  : panjang kelas

$R$  : Range

$k$  : Interval kelas

Dengan diketahuinya panjang kelas interval dan dengan memperlihatkan nilai-nilai data maksimum dan minimum maka besarnya tiap-tiap interval dapat ditentukan. Hasil penyusunan data yang telah ditetapkan tersebut disebut distribusi frekuensi. (Walpole, Ilmu Peluang dan Statistika Untuk Insinyur dan Ilmuwan, 1986, hal 112).



## 2.10 UJI KESESUAIAN DISTRIBUSI

Untuk menguji distribusi, kerusakan mesin baik secara keseluruhan maupun berdasarkan subsistem serta waktu perbaikan dan waktu penjadwalannya digunakan *Chi Square Goodness of Fit Test*.

Pengujian yang dilakukan berdasarkan hal-hal berikut:

Jika akan dilakukan data untuk distribusi Weibull, maka hipotesis yang diambil adalah :

$H_0$  : Menyatakan bahwa waktu kerusakan mengikuti distribusi Weibull.

$H_1$  : Menyatakan bahwa waktu kerusakan tidak mengikutinya distribusi Weibull.

Langkah-langkah pengujian adalah sebagai berikut:

- a. Tentukan taraf signifikan  $\alpha$  - 5%.
- b. Tentukan frekuensi hasil pengamatan ( $F_0$ ).
- c. Tentukan nilai pengamatan teoritis ( $F_1$ ).

$$F_1 = N p_i$$

$$P_i = \text{Kemungkinan terjadinya kerusakan dalam selang waktu } (T_1 . T_2)$$

$$P_i = e^{-t1/\lambda} - e^{-t2/\lambda}$$

- d. Tentukan test statistik hasil pengamatan ( $\lambda^2$ )
- e. Kaidah keputusan bandingkan  $\lambda^2$  dari pengamatan dengan  $\lambda^2 (v, \alpha)$  dari tabel untuk mendapatkan peluang menurut  $H_0$ .  $H_0$  diterima bila  $\lambda^2 < \lambda^2 (v, \alpha)$  dari tabel untuk mendapatkan peluang menurut  $H_0$ , diterima.

Bila  $v = k - 1$  (derajat kebebasan)  $v =$  jumlah kelas interval.

## 2.11 ELEMEN WAKTU DAN BIAYA PERAWATAN

Dalam kegiatan produksi terdapat berbagai elemen waktu yang dapat dibedakan, masing-masing adalah:

- a. Waktu operasi, dimana mesin / fasilitas berfungsi dengan baik dan tidak terdapat gangguan dan dipergunakan oleh sistem untuk melakukan kegiatan.
- b. Waktu *delay*, dimana mesin / fasilitas berfungsi dengan baik dan tidak terdapat gangguan, tetapi tidak dipergunakan oleh sistem.
- c. Waktu rintangan, yaitu total waktu dimana sistem tidak dapat dipergunakan.

Waktu rintangan dapat dibagi menjadi dua kelompok besar:

- 1) Komponen waktu rintangan akibat penggantian pencegahan.
  - Waktu pembongkaran.
  - Waktu menyiapkan komponen.
  - Waktu pemasangan komponen.
  - Waktu pengujian.
- 2) Komponen waktu rintangan akibat penggantian kerusakan.
  - Waktu administrasi, pelaporan kondisi mesin yang rusak sampai saat mendapat persetujuan / perintah untuk mendatangkan teknisi.
  - Waktu pembongkaran.
  - Waktu menemukan kerusakan.
  - Waktu menunggu kedatangan komponen pengganti.
  - Waktu pemasangan komponen.

- Waktu pengujian.

Tindakan perawatan, baik yang terencana maupun yang dilakukan mendadak akibat timbulnya kerusakan menimbulkan biaya bagi perusahaan. Biaya tersebut dapat berupa biaya langsung (biaya komponen, biaya tenaga kerja perawatan) maupun biaya tak langsung (biaya menganggur, biaya kesempatan dan lain-lain).

a. Biaya tetap

- Biaya tenaga kerja perawatan.
- Biaya tenaga kerja produksi yang menganggur.
- Biaya depresiasi mesin produksi.

b. Biaya variabel

- Biaya pembelian komponen pengganti.
- Biaya tenaga kerja produksi yang menganggur.
- Keuntungan yang tidak dapat diperoleh.
- Biaya administrasi.
- Biaya lain-lain.

## 2.12 KONSEP KEANDALAN

Kata keandalan menunjukkan suatu tingkat dimana sesuatu dapat berfungsi dengan handal. Keandalan dapat diartikan secara sederhana sebagai probabilitas suatu sistem atau produk akan dibuat menjadi memuaskan untuk periode waktu tertentu pada kondisi kerja tertentu.

Dalam konteks kegiatan berproduksi, keandalan didefinisikan sebagai suatu ukuran dari peralatan yang dioperasikan tanpa mengalami kegagalan pada suatu yang ditetapkan dalam suatu periode tertentu. Definisi tersebut ditekankan pada unsur-unsur probabilitas, fungsi yang diharapkan, waktu dan kondisi operasi.

Keandalan suatu sistem atau komponen cenderung tergantung pada waktu perbaikan. Untuk itu landasan terpenting dalam mempelajari keandalan adalah distribusi waktu kegagalan, yakni distribusi waktu untuk suatu komponen mengalami kegagalan / kerusakan pada kondisi lingkungan tertentu. Cara yang tepat untuk menentukan distribusi ini adalah dengan menguji laju kegagalan darurat.

Untuk mengembangkan konsep tersebut diatas, ada beberapa variabel yang biasa digunakan untuk mengukur besar keandalan, adalah: (**Jardine, Maintenance Replacement and Reliability, 1973, hal 22**)

- a. Fungsi kepadatan kemungkinan  
fungsi kepadatan kemungkinan berguna untuk menggambarkan karakteristik kegagalan peralatan. Probabilitas suatu kegagalan yang terjadi antara waktu  $t_x$  dan  $t_y$  ditunjukkan dalam persamaan berikut:

$$\int_{t_x}^{t_y} f(t)dt = 1$$

- b. Fungsi distribusi komulatif  
fungsi distribusi komulatif yaitu probabilitas terjadi kegagalan sebelum

waktu  $t_1$  dan dalam hal ini ditunjukkan oleh persamaan berikut:

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

Dimana :

$t$  : Waktu

$R(t)$  : Kesatuan fungsi

c. Fungsi keandalan

Kebalikan dari fungsi distribusi komulatif adalah fungsi keandalan, yaitu yang menunjukkan tingkat kemampuan hidup (umur) suatu mesin dalam jangka waktu tertentu. Persamaan untuk waktu keandalan ini adalah:

$$R(t) = \int_0^t f(t)dt$$

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

d. Laju kerusakan

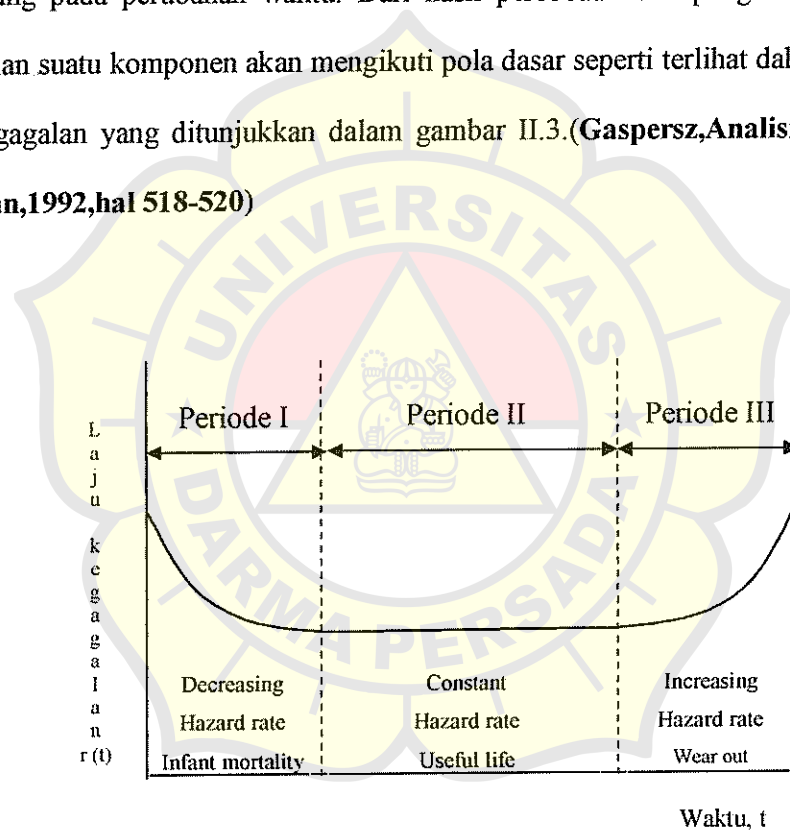
Laju kegagalan sering kali digunakan untuk menentukan karakteristik statistik mesin. Laju kegagalan pada interval ditunjukkan oleh persamaan berikut:

$$r(t)dt = \frac{\int_0^{1-dt} f(t)dt}{\int_0^1 f(t)dt}$$

$$r(t) = \frac{F(t+dt) - F(t)}{1 - F(t)}$$

### 2.13 KURVA LAJU KEGAGALAN

Pada dasarnya laju kegagalan (*Failing Rate*) akan berubah sepanjang umur dari populasi sistem atau komponen. Dengan demikian laju kegagalan akan tergantung pada perubahan waktu. Dari hasil percobaan dan pengalaman, laju kegagalan suatu komponen akan mengikuti pola dasar seperti terlihat dalam kurva laju kegagalan yang ditunjukkan dalam gambar II.3. (Gaspersz, Analisis Sistem Terapan, 1992, hal 518-520)



**Gambar II.3**  
**Kurva laju kegagalan**

Dalam gambar II.3 tampak bahwa kurva laju kegagalan terdiri dari tiga daerah yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

a. 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:

- Pengendalian mutu di pabrik yang kurang baik.
- Metode pemrosesan di pabrik yang kurang baik.
- Penggunaan material dan pekerja yang berada di bawah standar.
- “*Start up*” dan instalasi yang salah.
- Kesukaran-kesukaran dalam perakitan.
- “*Debugging*” yang tidak tepat.
- Kesalahan-kesalahan manusia dan proses.
- Metode penanganan yang kurang baik dan kesalahan dalam pengepakan (*Packaging*).

Dilihat dari bentuk kurva dalam gambar ternyata periode I dapat didekati menggunakan distribusi hiper-eksponensial. Laju kegagalan dalam periode I bersifat menurun.

b. 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:

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

Kurva kegagalan dalam periode II dapat didekati dengan menggunakan distribusi eksponensial negatif.

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

- Perawatan yang tidak tepat.
- Pemakaian yang salah karena gesekan (*friction*).
- Pemakaian karena komponen telah disimpan lama (*aging*).
- Praktek “*overhaul*” yang salah.



- Berkarat (*corrosion*) serta kerusakan yang timbul secara perlahan-lahan (*creep*).
- Telah dirancang masa pakai produk yang pendek.

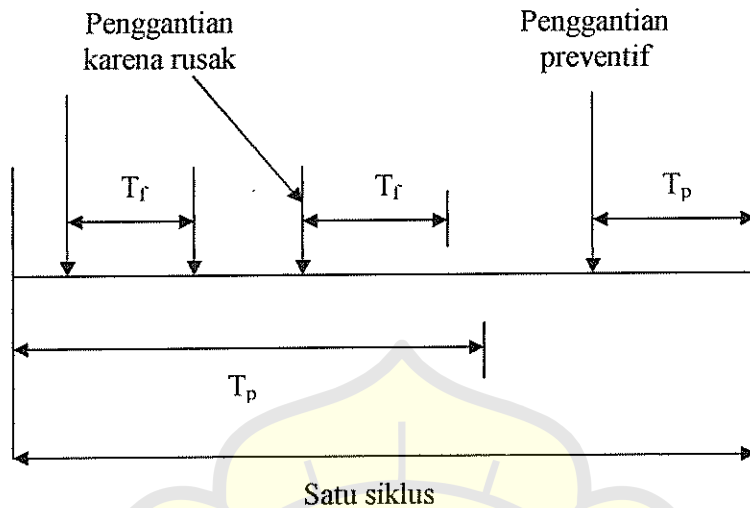
Kurva laju kegagalan dalam periode III dapat didekati dengan menggunakan distribusi normal.

## 2.14 KEPUTUSAN PENGGANTIAN KOMPONEN UNTUK MEMINIMUMKAN DOWNTIME

Pada dasarnya “*downtime*” didefinisikan sebagai waktu suatu komponen sistem tidak dapat digunakan (tidak berada dalam kondisi yang baik) sehingga membuat fungsi sistem tidak berjalan. Berdasarkan kenyataan bahwa pada dasarnya prinsip utama dalam manajemen sistem perawatan adalah untuk menekan periode kerusakan (*breakdown period*) sampai batas minimum, maka keputusan penggantian komponen sistem berdasarkan “*downtime*” minimum menjadi sangat penting. (Gaspersz, hal 553)

### 2.14.1 Penentuan Tindakan Preventif Optimum Berdasarkan Interval Waktu Penggantian

Tujuan untuk menentukan penggantian yang optimum berdasarkan interval waktu,  $t_p$ , diantara penggantian preventif dengan menggunakan kriteria meminimumkan total downtime per unit waktu, dapat dijelaskan melalui gambar II.4.



**Gambar II.4**  
**Penggantian komponen sistem berdasarkan interval waktu**

Dimana:

- $T_f$  : Waktu yang diperlukan untuk penggantian komponen karena kerusakan.
- $T_p$  : Waktu yang diperlukan untuk penggantian komponen karena tindakan preventif (komponen belum rusak).
- $t_p + T_p$  : Panjang satu siklus

Total *downtime* per unit waktu untuk tindakan penggantian preventif pada waktu  $t_p$ , dinotasikan sebagai  $D(t_p)$  adalah:

$$D(t_p) = \frac{\text{Rata-rata down time karena kegagalan komponen} + \text{Downtime karena penggantian preventif}}{\text{Panjang siklus}}$$

*Downtime* karena kegagalan komponen sistem di hitung sebagai banyaknya kegagalan dalam interval  $(0, t_p)$  dikalikan dengan waktu yang diperlukan untuk melakukan penggantian karena kerusakan komponen itu atau dinotasikan sebagai  $H(t_p) \times T_f$ .

Dengan demikian model penggantian preventif yang meminimumkan total downtime berdasarkan interval waktu penggantian  $t_p$ , dinotasikan sebagai  $D(t_p)$  adalah:

$$D(t_p) = \frac{H(t_p)T_f + T_p}{t_p + T_p}$$

Dimana :

$H(t_p)$  : Banyaknya kerusakan (kegagalan) dalam interval waktu  $(0, t_p)$ , merupakan nilai harapan (*expected value*).

$T_f$  : Waktu yang diperlukan untuk penggantian komponen karena kerusakan.

$T_p$  : Waktu yang diperlukan untuk penggantian komponen karena tindakan preventif (komponen belum rusak).

$t_p + T_p$  : Panjang satu siklus

Dengan meminimumkan total *downtime*,  $D(t_p)$ , akan diperoleh tindakan penggantian komponen berdasarkan interval waktu,  $t_p$ , yang optimum. 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  $(0, t_p)$  dihitung sebagai berikut :

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

Dengan  $H(0)$  ditetapkan sama dengan nol. Jadi untuk  $t_p = 0$ , maka  $H(t_p) = H(0) = 0$ .

### Contoh Penerapan

Diketahui bahwa distribusi kegagalan komponen X mengikuti distribusi normal  $N(\mu, \sigma) = N(8, 1)$ . Sistem beroperasi selama 72 jam per minggu, waktu yang diperlukan untuk penggantian komponen X karena kerusakan adalah 2 jam. Dari informasi tersebut diperoleh:

$$F(t) = N(8, 1)$$

$$T_f = 6 \text{ jam} = (6/72) \text{ minggu} = 0,08333 \text{ minggu}$$

$$T_p = 2 \text{ jam} = (2/72) \text{ minggu} = 0,02778 \text{ minggu}$$

Berdasarkan rumus diperoleh:

$$D(tp) = \frac{H(tp)T_f + T_p}{tp + T_p}$$

$$D(tp) = \frac{0,08333H(tp) + 0,02778}{tp + 0,02778}$$

Untuk menentukan nilai harapan dari banyaknya kegagalan komponen X dalam interval waktu  $(0, t_p)$  dapat dihitung dengan rumus  $H(tp)$  yang telah ditetapkan dan dapat menggunakan tabel Distribusi Kumulatif Normal. Adapun berbagai nilai total Downtime Dari beberapa interval waktu penggantian komponen X diperoleh:

$$D(tp = 1) = \frac{0,08333(0) + 0,02778}{1 + 0,02778} = 0,02703 \text{ minggu}$$

$$D(tp = 2) = \frac{0,08333(0) + 0,02778}{2 + 0,02778} = 0,01370 \text{ minggu}$$

$$D(tp = 3) = \frac{0,08333(0) + 0,02778}{3 + 0,02778} = 0,00918 \text{ minggu}$$

$$D(tp = 4) = \frac{0,08333(0) + 0,02778}{4 + 0,02778} = 0,00690 \text{ minggu}$$

$$D(tp = 5) = \frac{0,08333(0,0013) + 0,02778}{5 + 0,02778} = 0,00555 \text{ minggu}$$

$$D(tp = 6) = \frac{0,08333(0,0228) + 0,02778}{6 + 0,02778} = 0,00492 \text{ minggu}$$

$$D(tp = 7) = \frac{0,08333(0,1587) + 0,02778}{7 + 0,02778} = 0,00583 \text{ minggu}$$

$$D(tp = 8) = \frac{0,08333(0,5000) + 0,02778}{8 + 0,02778} = 0,00865 \text{ minggu}$$

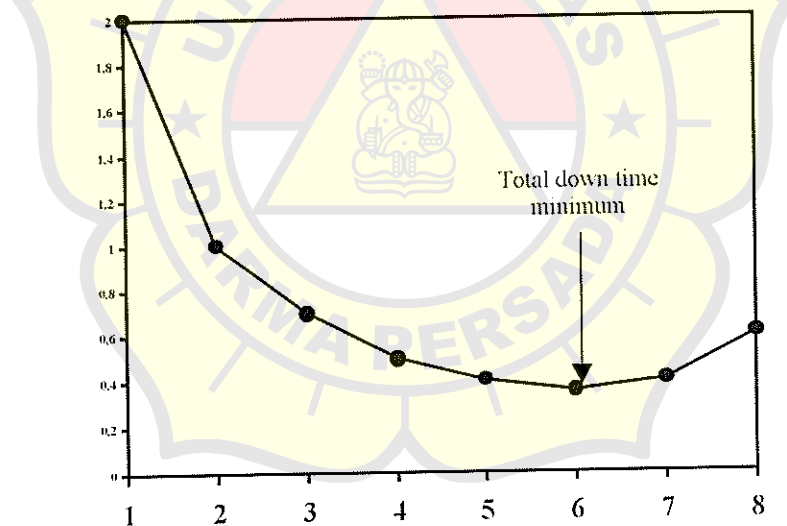
Dari hasil perhitungan diperoleh bahwa penggantian preventif komponen X dalam sistem sebaiknya dilakukan berdasarkan interval waktu  $tp=6$  minggu, karena pada saat itu tercapai keadaan optimum

dengan total downtime minimum yaitu selama 0,00492 minggu atau ekuivalen dengan  $0.00492 (72 \text{ jam operasi}) = 0,35424 \text{ jam operasi}$ .

### 2.14.2 Penentuan Tindakan Preventif Optimum Berdasarkan Umur Komponen

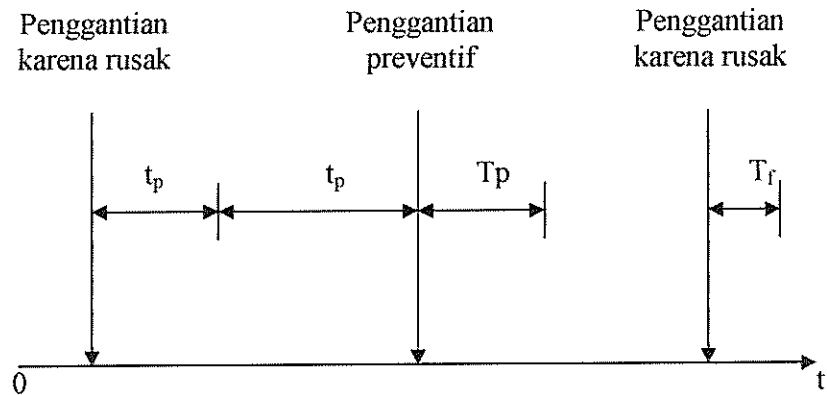
Tujuan untuk menentukan penggantian yang optimum berdasarkan umur komponen adalah menentukan umur optimum  $t_p$  yang mana melalui penggantian itu akan meminimumkan total *downtime* per unit waktu.

Penentuan tindakan preventif yang optimum berdasarkan umur komponen dapat dijelaskan melalui gambar II.5.



Gambar II.5

Total *downtime* dari beberapa interval waktu penggantian komponen x dalam sistem industri A.



**Gambar II.6**  
**Penggantian berdasarkan umur komponen.**

Total *downtime* per unit waktu untuk tindakan penggantian preventif berdasarkan umur komponen,  $t_p$ , ditentukan sebagai berikut:

$$D(t_p) = \frac{\text{Total downtime yang diharapkan per siklus}}{\text{Panjang siklus yang diharapkan}}$$

Dalam notasi matematik dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$D(t_p) = \frac{T_p R(t_p) + T_f \{1 - R(t_p)\}}{(t_p + T_p) R(t_p) + \{M(t_p) + T_f\} \{1 - R(t_p)\}}$$

Dimana :

$$M(t_p) = \frac{\int_0^{t_p} t f(t) dt}{1 - R(t_p)}$$

- $t_p$  : Panjang dari siklus preventif.
- $T_p$  : *Downtime* karena tindakan preventif (waktu yang diperlukan untuk penggantian komponen karena tindakan preventif).
- $T_r$  : *Downtime* karena kerusakan komponen (waktu yang diperlukan untuk penggantian komponen karena kerusakan).
- $R(t_p)$  : Peluang dari siklus preventif (fungsi keandalan).
- $1 - R(t_p)$  : Peluang dari siklus kerusakan (kegagalan).
- $M(t_p)$  : Nilai harapan panjang siklus kerusakan (kegagalan)

