

BAB II

LANDASAN TEORI

II.1. Pengertian Dan Peranan Perawatan^{*1)}

Perawatan (Maintenance) dapat diartikan sebagai kegiatan untuk memelihara atau menjaga fasilitas / peralatan pabrik dan mengadakan perbaikan atau penyesuaian / penggantian yang diperlukan agar terdapat suatu keadaan operasi produksi yang memuaskan sesuai dengan yang direncanakan.

Seperti kita ketahui perencanaan merupakan salah satu fungsi manajemen. Dalam perencanaan ditentukan usaha-usaha atau tindakan-tindakan yang akan atau perlu diambil oleh pimpinan perusahaan untuk mencapai tujuan perusahaan, dengan mempertimbangkan masalah-masalah yang mungkin timbul dimasa yang akan datang. Untuk membuat perencanaan yang baik, maka perlu diperlihatkan masalah intern dan masalah ekstern. Masalah intern adalah masalah yang datangnya dari dalam perusahaan (masih dalam kekuasaan pimpinan perusahaan), seperti mesin yang digunakan, buruh yang dikaryawan, bahan yang diperlukan dan sebagainya. Sedangkan masalah ekstern adalah masalah yang datangnya dari luar perusahaan (diluar kekuasaan pimpinan perusahaan), seperti inflasi, kebijaksanaan,

*1) *Sofjan Assauri, Manajemen Produksi Dan Operasi, edisi Empat, Lembaga Penerbit Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia, Jakarta 1969.*

keadaan politik, dan sebagainya.

Tujuan utama dari pemeliharaan ini adalah :

- a. Kemampuan berproduksi dapat memenuhi kebutuhan sesuai dengan rencana.
- b. Menjaga kualitas pada tingkat yang tepat untuk memenuhi apa yang dibutuhkan oleh produk itu sendiri dan kegiatan produk yang tidak terganggu.
- c. Mencapai tingkat biaya pemeliharaan yang mungkin dengan melaksanakan kegiatan perawatan secara efektif dan efisien bagi keseluruhannya.
- d. Menghindari kegiatan pemeliharaan yang dapat membahayakan keselamatan kerja.
- e. Memelihara secara baik sehingga mesin berada dalam kondisi yang dapat digunakan untuk beroperasi.
- f. Mengadakan suatu kerja sama yang erat dengan fungsi–fungsi utama lainnya dari perusahaan dalam rangka mencapai tujuan utama perusahaan.

Jadi jelaslah bahwa peranan bagian perawatan adalah untuk menjaga agar pabrik dapat bekerja secara efisien dengan menekan (mengurangi) kemacetan–kemacetan menjadi sekecil mungkin.

Peranan yang penting dari kegiatan pemeliharaan dan perawatan mesin biasanya baru diingat setelah mesin–mesin yang dimiliki rusak dan tidak dapat berjalan sama sekali. Untuk mencegah kerusakan tersebut maka kegiatan pemeliharaan dan perawatan mesin harus dapat

menjamin bahwa selama proses produksi berlangsung, tidak akan terjadi kemacetan–kemacetan yang disebabkan mesin atau fasilitas produksi.

II.2 Jenis–Jenis Perawatan (Maintenance)

Kegiatan perawatan (maintenance activity) yang dilaksanakan dalam suatu perusahaan, dapat dibedakan atas dua kategori yaitu :

1. Pemeliharaan atau perawatan pencegahan (Preventive Maintenance)
2. Pemeliharaan perbaikan kerusakan (Corrective Maintenance).

2.2.1 Pemeliharaan atau Perawatan Pencegahan (Preventive Maintenance)

Pemeliharaan preventif adalah pemeliharaan yang dilakukan sebelum kebutuhan timbul dan bertujuan untuk menekan kemungkinan–kemungkinan, gangguan–gangguan di dalam produksi yang tidak diharapkan atau terjadi kerusakan yang besar.

Pemeliharaan preventif terdiri dari :

1. Design dan pemasangan yang sebaik–baiknya dari peralatan.
2. Pemeriksaan berkala atas pabrik dan peralatan untuk mencegah kerusakan sebelum hal–hal itu terjadi.
3. Pelayanan berulang, pemeliharaan dan penelitian atas peralatan.

Perusahaan yang melakukan pemeliharaan dan perawatan secara preventif akan merasa aman sehingga terjadi kelancaran di dalam proses produksi dan pada setiap proses produksi selalu dalam keadaan atau kondisi yang siap pakai. Sehingga dapat dimungkinkan pembuatan

rencana–rencana dan penjadwalan dari pemeliharaan dan perawatan yang sangat cermat. Dan rencana produksi pun dapat dilakukan dengan sangat tepat. Pemeliharaan dan perawatan preventif ini sangat penting karena kegunaannya yang sangat efektif dalam menghadapi fasilitas–fasilitas produksi yang termasuk dalam critical unit. Sebuah fasilitas atau peralatan produksi akan tergolong dalam golongan critical unit, apabila :

1. Kerusakan fasilitas atau peralatan tersebut akan membahayakan kesehatan dan keselamatan para pekerja.
2. Kerusakan fasilitas ini akan mempengaruhi kualitas dari produk yang dihasilkan.
3. Kerusakan fasilitas tersebut akan menyebabkan kemacetan seluruh proses produksi.
4. Modal yang ditanamkan dalam fasilitas tersebut atau harga dari fasilitas cukup besar.

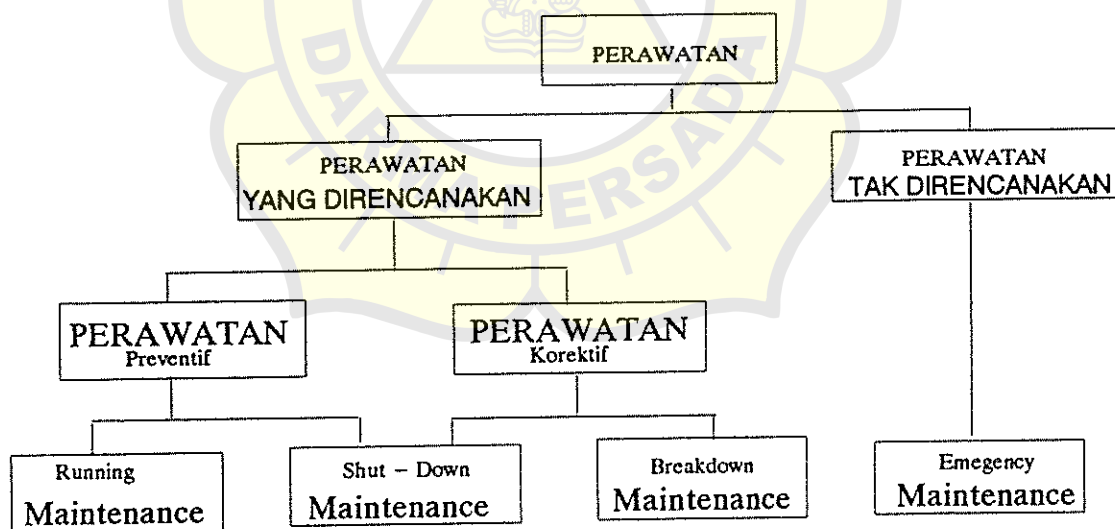
2.2.2 Pemeliharaan Perbaikan Kerusakan (Corective Maintenance)

Pemeliharaan Korektif atau Breakdown Maintenance adalah kegiatan perawatan dan pemeliharaan yang dilakukan setelah terjadi kerusakan atau kelainan pada fasilitas atau peralatan sehingga tidak dapat berfungsi dengan baik. Kegiatan dan pemeliharaan serta perawatan korektif ini sering juga disebut dengan kegiatan perbaikan atau reparasi.

II.3 Pertimbangan Dalam Perencanaan Perawatan²⁾

Untuk mencapai tujuan industri, maka fasilitas produksi perlu dirawat secara terencana dan terorganisasi. Dalam membuat perencanaan semua bidang perlu dipertimbangkan, tidak hanya fungsi perawatan dan produksi tetapi juga mencakup ekonomi. Bagian perawatan, produksi dan akuntansi, masing-masing mempunyai pendapat mengenai dasar-dasar yang terbaik untuk merencanakan suatu bentuk perawatan. Berdasarkan arah tujuan dan masalah yang dipelajari dari kosep-konsep dasar perawatan, maka dapat dikembangkan suatu perencanaan yang terpadu hingga akan memberi hasil yang terbaik secara menyeluruh.

Hubungan dari bentuk-bentuk Perawatan baik yang direncanakan maupun yang tidak direncanakan dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 : Hubungan antara berbagai bentuk perawatan.

²⁾ Supandi, *Manajemen Perawatan Industri*, Penerbit Ganesca Exact Bandung, 1973.

Pada umumnya sering terjadi salah pengertian antara penerapan bentuk perawatan setelah terjadi kerusakan (breakdown maintenance) dan perawatan darurat (emergency maintenance), karena keduanya bersifat mendadak.

Untuk breakdown maintenance, pada saat kejadian semua sarana perbaikan telah disiapkan dan dengan segera usaha perbaikan dapat dilakukan, sehingga dalam waktu yang secepat mungkin kerusakan dapat diatasi.

Sedangkan pada kejadian emergency maintenance, kerusakan terjadi secara mendadak dan sulit diduga penyebabnya, sehingga untuk memperbaikinya diperlukan pemeriksaan terlebih dahulu. Kerusakan yang mendadak ini dapat berakibat serius.

II.4 Program Pemeliharaan Pencegahan

Agar kegiatan perawatan tersebut dapat berjalan dengan lancar maka dalam perencanaan pengorganisasiannya diperlukan suatu program, yaitu terdiri dari :

- a. Menyeleksi aktivitas–aktivitas perawatan pencegahan.
- b. Menyusun aktivitas–aktivitas perawatan.
- c. Membuat keputusan mengenai apakah akan memperbaiki atau mengganti.
- d. Menentukan frekuensi pelaksanaan perawatan pencegahan.
- e. Pengendalian aktivitas–aktivitas perawatan.

Untuk menyusun program tersebut, maka diperlukan pengetahuan mengenai :

1. Mesin yang akan dirawat, dilakukan aktivitas perawatan yang akan dilaksanakan.
2. Penyebab timbulnya kerusakan mesin.
3. Biaya kerusakan untuk perbaikan.
4. Biaya untuk melaksanakan perawatan pencegahan.

II.5 Pengertian Keandalan ³⁾

Keandalan mulai dikembangkan untuk tujuan mengatasi masalah-masalah yang terjadi pada telepon oleh A.K. Erlangga dan C Palm pada tahun 1930, kemudian konsep keandalan lainnya adalah menyatakan jumlah rata-rata kegagalan atau tingkat keandalan untuk pesawat terbang. Pada tahun 1950 keandalan digunakan juga pada industri nuklir untuk menganalisa konstruksi dan pengoperasian suatu reaktor pembangkit nuklir.

Selanjutnya, tahun 1952 oleh Departemen Pertahanan Keamanan Amerika Serikat, keandalan dikembangkan untuk menganalisa sistem-sistem elektronik yang berkembang dengan pesatnya untuk mendapatkan kepastian beroperasinya sistem tersebut dengan baik.

Dengan dikoordinasikan oleh Departemen Pertahanan dan Keamanan, maka didirikan kelompok penasehat keandalan untuk peralatan elektronik,

³⁾ Hamdy. A, *Operations Research An Introduction, Second Edition, Mc. Millan Publishing Co, Inc, Jearsy, 1976.*

dimana pengertian keandalan waktu itu adalah merupakan kemungkinan normal akan berfungsi sesuai dengan yang diharapkan dan pada suatu interval waktu tertentu tidak akan mengalami kerusakan.

Dalam pengertian sehari-hari istilah keandalan dikaitkan dengan ukuran prestasi. Suatu peralatan dikatakan dapat diandalkan jika peralatan tersebut telah berhasil menjalankan fungsinya dengan baik, sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan.

Jika suatu studi keandalan dikaitkan dengan kerusakan yang terjadi secara random dari kejadian yang tidak diharapkan atau gagal selama umur fisik sistem, maka keandalan dapat diartikan sebagai probabilitas berfungsinya suatu sistem dalam waktu tertentu.

Dari definisi diatas jelaslah bahwa masalahnya adalah :

- a. Pengertian keandalan yang menggunakan kemungkinan dari kegagalan.
- b. Konsep dari penampilan yang memuaskan untuk parameter sistem bahwa semakin lama keadaannya akan semakin buruk.
- c. Perlunya pertimbangan untuk menentukan pernyataan dari kondisi lingkungan yang sebenarnya.

2.5.1 Pengertian Keandalan Menurut Teori Kemungkinan⁴⁾

Teori kemungkinan merupakan teori yang membahas tentang ukuran derajat ketidakpastian suatu kejadian. Kejadian tersebut dapat berupa kesuksesan dan dapat pula berupa kegagalan,

⁴⁾ P.A. Surjadi, *Pendahuluan Teori Kemungkinan dan Statistik*, Penerbit ITB, Bandung, 1980.

sedangkan kesuksesan suatu komponen atau sistem dalam waktu yang telah ditentukan identik dengan pengertian keandalan. Jadi, dengan demikian keandalan dapat dinyatakan dengan kemungkinan.

Sebagai contoh adalah :

N : Merupakan ukuran awal sampel

n : Merupakan jumlah yang rusak dalam waktu t

Maka,

$N - n$: Merupakan jumlah yang sukses.

Kemungkinan untuk gagal $P(G)$ adalah :

$$P(G) = n/N \quad \text{Untuk } 0 \leq P(G) \leq 1 \quad (2.1)$$

Kemungkinan untuk sukses $P(C)$ adalah :

$$\begin{aligned} P(C) &= 1 - P(G) \\ &= 1 - n/N \quad \text{Untuk } 0 \leq P(G) \leq 1 \end{aligned} \quad (2.2)$$

Dalam perhitungan kemungkinan dipakai istilah ruang sample S dan A merupakan kejadian dari ruang sampel S , didefinisikan bahwa $P(A)$ merupakan kemungkinan terjadinya A dalam ruang sampel S .

Ada tiga keadaan yang harus dipenuhi dalam perhitungan teori kemungkinan yaitu :

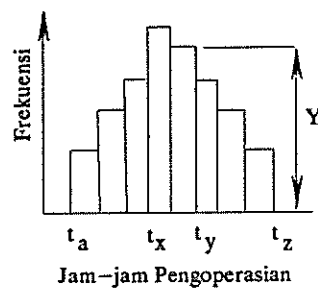
- Aksioma 1 : $0 \leq P(A) \leq 1$ untuk setiap kejadian A dalam sampel S .
- Aksioma 2 : $P(S) = 1$
- Aksioma 3 : Jika A dan B merupakan kejadian yang bertentangan (mutually Exclusive) dalam S , maka $P(A \cup B) = P(A) + P(B)$.

2.5.2 Pendekatan Statistik

Suatu keputusan yang berhubungan dengan masalah probabilistik, diantaranya jika untuk melaksanakan penggantian pencegahan pada peralatan yang merupakan subjek dari kerusakan, yang didasarkan pada informasi bahwa peralatan tersebut akan mencapai kondisi gagal. Para teknisi tidak pernah tahu dengan pasti kapan transisi suatu peralatan dari keadaan baik menuju gagal akan terjadi, tetapi biasanya mereka dapat memberikan informasi tentang probabilistik transisi yang akan terjadi pada suatu waktu. Maka, untuk itu memungkinkan kita berhubungan dengan masalah probabilistik yang mana pengetahuan statistik diperlukan bila keputusan pemeliharaan yang optimal akan ditentukan.

2.5.3 Histogram Frekuensi Relatif

Jika sejumlah mesin–mesin produksi yang sama merupakan subjek dari kerusakan, maka kita tidak mengharapkan setiap dari mesin akan gagal setelah bersama–sama bekerja pada jam–jam pengoperasiannya. Dengan mencatat waktu kerusakan tiap–tiap mesin maka dapat dibuat suatu histogram seperti yang terlihat dalam gambar 2.2.



Gambar 2.2 : *Histogram Frekuensi Relatif.*

Luas tiap bagian yang ada dalam histogram ini menyatakan frekuensi relatif dari kerusakan yang terjadi dalam suatu interval waktu tertentu.

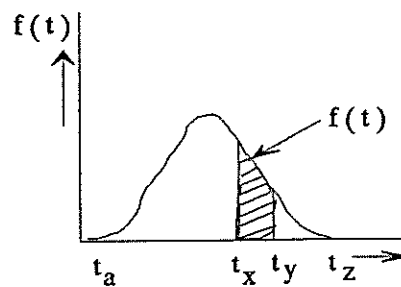
Besarnya suatu probabilitas kerusakan yang terjadi dalam suatu interval waktu t_x dan t_y adalah hasil perkalian ordinat y dengan interval $(t_x - t_y)$.

Dari gambar tersebut terlihat bahwa probabilitas kegagalan yang terjadi antara t_a dan t_z dimana t_a dan t_z merupakan waktu tercepat dan waktu terlama dimana peralatan rusak merupakan suatu kesatuan. Hal itu kita asumsikan bahwa kerusakan yang terjadi dalam interval (t_a, t_z) dan luas area histogramnya adalah 1.

2.5.4 Probabilistik Fungsi Padat

Dalam studi perawatan kita cenderung tidak menggunakan histogram frekuensi relatif, akan tetapi lebih sering menggunakan probabilitas fungsi padat yang dinotasikan dengan $f(t)$, dengan alasan lebih mudah untuk menanganinya.

Probabilitas fungsi padat ini merupakan kurva yang kontinu, seperti yang terlihat dalam gambar 2.3.



Gambar 2.3 : *Probabilitas Fungsi Padat*

Besarnya probabilitas terjadinya kerusakan dalam interval antara t_x dan t_y adalah luas areal yang terletak dibawah kurva probabiliti fungsi padat ini adalah integral antara t_x dan t_y dari $f(t)$:

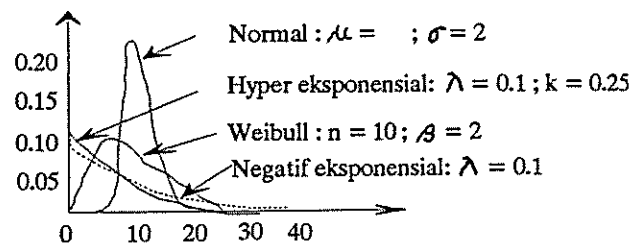
$$\int_{t_x}^{t_y} f(t) dt \quad (2.3)$$

Probabilitas terjadinya kegagalan waktu antara t_a dan t_z adalah :

$$\int_{t_a}^{t_z} f(t) dt = 1 \quad (2.4)$$

Pada masalah kerusakan, terdapat sejumlah distribusi fungsi padat yang menggambarkan probabilitas terjadinya kerusakan atau kegagalan dari suatu peralatan pada suatu saat, seperti yang terlihat dalam gambar 2.4.⁵⁾

⁵⁾ *A.K.S Jardine, Maintenance, Replacement and Reliability, hal.15*



Gambar 2.4 : Probabilitas Fungsi Padat, Hyper Eksponensial, Normal, Eksponensial Negatif dan Weibull.

Penjelasan dari keempat fungsi padat tersebut adalah sebagai berikut :

1. *Hyper Eksponensial*

Bila suatu alat mempunyai waktu kerusakan yang sangat pendek atau sangat panjang, maka distribusi kerusakannya dapat dinyatakan dengan distribusi Hyper Eksponensial. Probabilitas fungsi padat dinyatakan dengan :

$$f(t) = 2k^2 \lambda \exp[-2k\lambda t + 2\lambda(1-k)^2] \exp[-2(1-k)\lambda t] \quad (2.5)$$

Untuk $t \geq 0$ dengan $0 \leq k \leq 0,5$

dimana :

λ = rata-rata kedatangan nilai kerusakan

k = parameter dari distribusi

2. *Eksponensial Negatif*

Distribusi eksponensial negatif adalah salah satu yang dijumpai dalam praktek dimana kegagalan atau kerusakan peralatan dapat disebabkan oleh kerusakan dari salah satu komponen peralatan yang ditimbulkannya. Juga, ini adalah karakteristik dari peralatan yang merupakan subjek untuk kerusakan yang disebabkan oleh sebab-sebab random. Seperti pada pembebanan secara tiba-tiba yang melampaui

batas. Fungsi padat untuk distribusi eksponensial negatif adalah :

$$f(t) = \lambda \text{ eksp } [-\lambda t] \text{ untuk } t \geq 0. \quad (2.6)$$

dimana :

λ = rata-rata kedatangan kerusakan

$1 / \lambda$ = rata-rata waktu kerusakan

3. Normal

Distribusi normal terjadi bila mana sejumlah besaran dari waktu kerusakan alat berfluktuasi secara random disuatu besaran tertentu, atau distribusi yang menggambarkan laju kerusakan alat meningkat sesuai dengan penambahan waktu untuk operasi. Fungsi padat untuk distribusi normal adalah :

$$f(t) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \text{ eksp } \left[-\frac{(t - \mu)^2}{2\sigma^2} \right] \quad (2.7)$$

untuk $-\infty \leq t \leq \infty$

dimana :

μ = Harga rata-rata distribusi

σ = Standart deviasi

Catatan bahwa untuk distribusi normal :

$$\int_0^{\infty} f(t) dt = 1 \text{ tetapi } f(t) \int_{-\infty}^{\infty} f(t) dt = 1$$

4. Weibull

Distribusi weibull adalah distribusi empiris yang timbul dari karakteristik kerusakan peralatan yang besar jumlahnya. Probabilitas fungsi padat distribusi weibull adalah sebagai berikut :

$$f(t) = \frac{\beta}{\alpha} \left[\frac{t}{\alpha} \right]^{\beta-1} \cdot \exp \left[- \left(\frac{t}{\alpha} \right)^{\beta} \right] \quad (2.9)$$

untuk : $t > 0$

dimana :

α = skala parameter dan > 0

β = bentuk parameter dan > 0

jika,

$B = 1$: maka distribusi weibull ekuivalen dengan distribusi eksponensial negatif.

$B > 1$: Maka distribusi weibull didekati dengan distribusi normal

2.5.5 Distribusi Fungsi Kumulatif

Didalam mempelajari masalah perawatan, kita sering memperhatikan probabilitas terjadinya kerusakan dari suatu alat sebelum sampai pada saat t . probabilitas ini dapat dicari dari probabilitas fungsi padat yang relevan, sebagai berikut :

Probabilitas kerusakan sebelum waktu t

$$= \int_{-\infty}^t f(t) dt \quad (2.10)$$

$\int_{-\infty}^t f(t) dt$ dilambangkan dengan $F(t)$ dan menyatakan fungsi distributor kumulatif. Jika t cenderung menjadi tak terbatas, $F(t)$ cenderung menjadi kesatuan. Bentuk dari $F(t)$ untuk keempat fungsi padat adalah :

a . Hyper Eksponensial

$$F(t) = 1 - k \exp(-2k\lambda t) - (1-k) \exp(-2(1-k)\lambda t)$$

b. Eksponensial Negatif : $F(t) = \text{eksp}[-\lambda t]$

c. Normal : $F(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t \text{eksp}\left[-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] dt$

d. Weibull : $F(t) = 1 - \text{eksp}\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^n\right]$

2.5.6 Fungsi Keandalan

Suatu peralatan dikatakan dapat diandalkan apabila peralatan tersebut mempunyai mutu yang baik dan tahan lama. Apabila pengertian keandalan suatu peralatan dikaitkan dengan kejadian acak didalamnya, maka dalam pengertian keandalan akan terkandung nilai kemungkinan sampai sejauh mana sistem itu dapat diandalkan. Keandalan dapat didefinisikan sebagai berikut : " Keandalan adalah kemungkinan bahwa suatu sistem produksi atau peralatan akan berfungsi dengan baik sampai suatu keadaan tertentu." ⁶⁾

Dari defenisi yang telah diuraikan, maka dalam keandalan terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan :

- a. Performance, menunjukkan bahwa diperlukan suatu bentuk (kriteria) tertentu sehingga dapat dikatakan bahwa sistem dapat berfungsi dengan memuaskan.
- b. Waktu tertentu, biasanya faktor waktu yang dipergunakan untuk menilai keandalan suatu sistem akan dikaitkan dengan keadaan tertentu. misalnya waktu rata-rata antar perbaikan dan waktu antar dua kerusakan.

⁶⁾ *A.K.S Jardinc, Maintenance, Replacement and Reliability, hal.15*

- c. Kondisi, yang dimaksud dengan kondisi disini adalah kondisi operasi daripada suatu sistem. Dua buah sistem dengan mutu yang sama, dalam kondisi operasionalnya mungkin saja mempunyai keandalan yang berbeda. Sebagai contoh dua buah mesin dibeli dari pabrik yang sama dan dioperasikan pada waktu yang sama pula belum tentu mesin– mesin tersebut mempunyai keandalan yang sama, apabila mesin pertama dioperasikan oleh orang yang belum berpengalaman, sedangkan mesin kedua dioperasikan oleh ahlinya.

Fungsi keandalan merupakan fungsi komplemen dari fungsi distribusi kumulatif. Adapun fungsi distribusi kumulatif menyatakan kemungkinan fungsi suatu peralatan rusak sebelum sampai waktu t . Sedangkan fungsi keandalan menyatakan kemungkinan suatu alat masih dalam keadaan baik sampai waktu t .

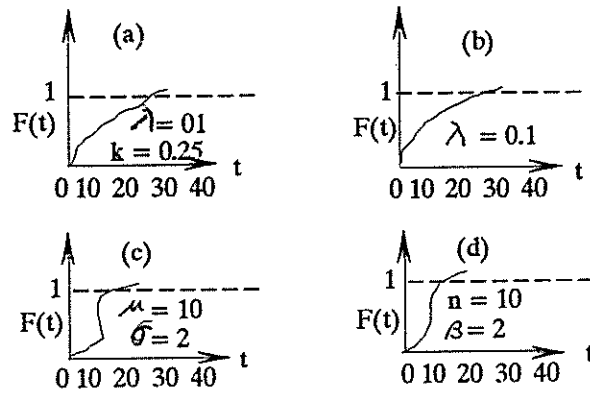
Fungsi keandalan dilambangkan dengan $R(t)$ dan ditentukan sebagai berikut :

$$R(t) = \int_t^{\infty} f(t) dt \quad (2.11)$$

atau :

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

Jika t cenderung untuk tidak terbatas, $R(t)$ cenderung nol. Bentuk dari fungsi keandalan untuk keempat yang dijumpai pada bagian 2.5.3 diilustrasikan dalam gambar 2.5.



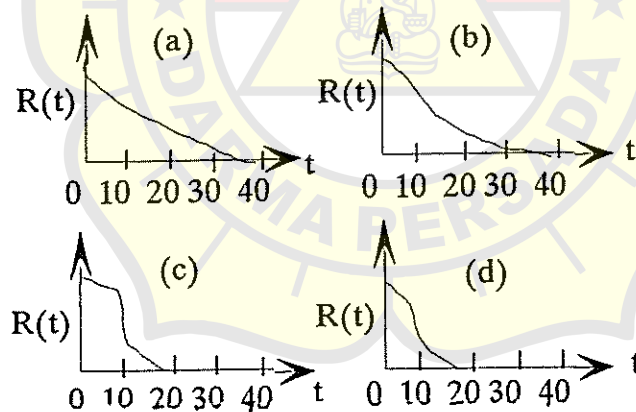
Gambar 2.5 : Bentuk distribusi fungsi kumulatif

(a) Hyper eksponensial : $F(t) = 1 - k \exp(-2k\lambda t) - (1 - k) \exp(-2(1 - k)\lambda t)$

(b) Eksponensial negatif : $F(t) = 1 - \exp(-\lambda t)$

(c) Normal : $f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t \exp\left[-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] dt$

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



Gambar 2.6 : Bentuk distribusi fungsi keandalan

(a) Hyper eksponensial : $R(t) = k \text{ eksp } (2k\lambda t)$

$$+ (1 - k) \text{ eksp } -2(1 - k)\lambda t$$

(b) Eksponensial negatif : $R(t) = \text{eksp } -\lambda t$

(c) Normal :

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

(d) Weibull : $R(t) = \text{eksp} \left[-\left(\frac{t}{\eta}\right) \right]$

2.5.7 Laju Kerusakan

Karakteristik statistik dari suatu peralatan yang sering digunakan dalam studi replacement adalah laju kerusakan (failure rate). Laju kerusakan dari alat pada saat t adalah besarnya probabilitas alat tersebut akan rusak dengan segera di interval waktu berikutnya, sedangkan sampai saat t peralatan tersebut masih dalam keadaan baik. Katakanlah $f(t)$ adalah probabilitas suatu peralatan akan rusak dan interval waktu sangat kecil ($t, t + dt$), sedang sampai saat t tersebut peralatan masih dalam keadaan baik. Maka besarnya laju kerusakan adalah :

$$r(t) dt = \frac{\int_t^{t+dt} r(t) dt}{\int_t^{\infty} f(t) dt} = \frac{F(t+dt) - F(t)}{1 - F(t)} \quad (2.12)$$

Jika persamaan tersebut dibagi dengan dt , dan kemudian $dt \rightarrow 0$ ini memberikan :

$$r(t) = \frac{f(t)}{1 - F(t)} \quad (2.13)$$

dimana, $r(t)$ adalah waktu rata-rata kerusakan.

Bentuk laju kerusakan untuk beberapa probabilitas fungsi padat adalah :

a. Hyper eksponensial :

$$r(t) = \frac{2(k^2 + (1-k)^2 \text{ eksp}[-2t(1-2k)])}{k + (1-k) \text{ eksp}[-2t(1-2k)]}$$

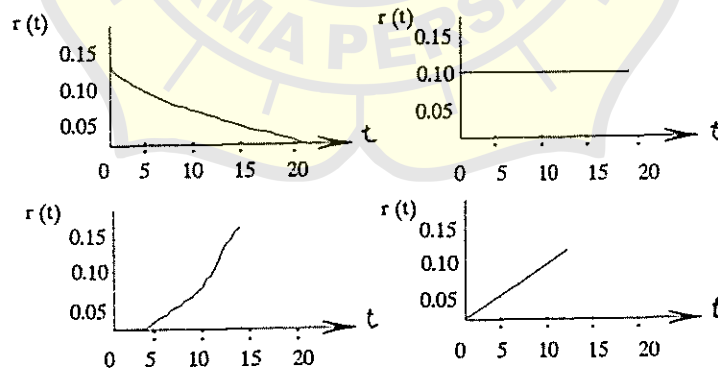
b. Eksponensial Negatif : $r(t) = \lambda$

c. Normal :

$$r(t) = \frac{\text{eksp}[-(t-\mu)^2/2\sigma^2]}{\int_t^\infty \text{eksp}[-(t-\mu)^2/2\sigma^2] dt}$$

d. Weibull : $r(t) = \frac{\beta}{n} \{t/n\}^{\beta-1}$

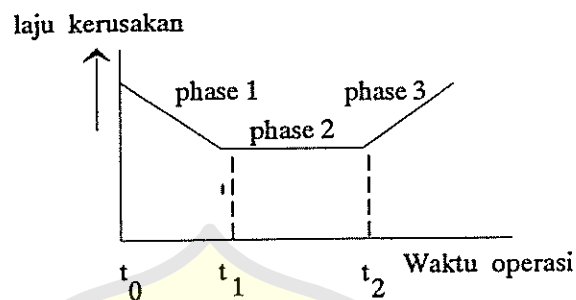
Bentuk dari keempat tingkat kerusakan tersebut dapat dilihat dalam gambar 2.7



Gambar 2.7 : Laju Kerusakan *6)

*6) A.K.S Jardine "Maintenance, Replacement and Reliability", hal, 21

Bila diperhatikan bentuk dari tingkat kerusakan masing–masing probabilitas fungsi padat diatas, maka dapatlah diambil kesimpulan bahwa tingkat kerusakan dari fungsi masing–masing yaitu :



Gambar 2.8 : Kurva Bath – Tub

Keterangan dari ketiga phase tersebut adalah :

- Phase 1 : Pada saat operasi (t_0), laju kerusakan cukup tinggi, kemudian menurun sejalan dengan pertambahan waktu operasi, atau probabilitas rusak pada saat t_1 . Faktor penyebab kerusakan biasanya akibat kesalahan pabrikasi.
- Phase 2 : Pada saat operasi t_1 sampai t_2 , laju kerusakan tetap dan cenderung rendah, yang berarti laju tidak akan naik atau menurun walaupun umur peralatan bertambah dan probabilitas rusak pada setiap saat adalah sama. Kerusakan alat pada pengoperasian normal dikenal sebagai kerusakan acak, karena kerusakan yang tidak dapat dideteksi oleh teknik pemeriksaan yang tersedia.
- Phase 3 : Mulai saat t_2 dan seharusnya laju kerusakan cenderung meningkat, hal ini berarti laju kerusakan bertambah sesuai

dengan lamanya pemakaian umur peralatan. Probabilitas rusak pada saat t_2 lebih kecil dari saat berikutnya. Faktor penyebab dari kerusakan adalah karena makin memburuknya kondisi peralatan.

II.6 Elemen Waktu dan Ongkos Peralatan

Didalam masalah perawatan terdapat beberapa pengertian tentang waktu dan ongkos. Pengertian tentang waktu yaitu :

- a. Waktu operasi (Operating Time) : adalah waktu selama sistem menjalankan fungsinya yang dapat diterima oleh operator.
- b. Waktu bebas (Free Time) : adalah waktu dimana sistem tidak menjalankan fungsinya.
- c. Waktu menganggur (Down Time) : adalah waktu total dimana satu sistem berada dalam keadaan yang tidak dapat diterima untuk menjalankan fungsinya.

Waktu terbagi menjadi :

- Waktu perbaikan aktif (Aktive Repair Time) adalah waktu dimana teknis melayani kegiatan perbaikan terhadap sistem atau peralatan yang terdiri dari waktu persiapan, waktu penentuan lokasi kerusakan, waktu perbaikan dan waktu pengujian terakhir.
- Waktu administrasi dan logistik adalah waktu yang dibutuhkan untuk menunggu penggantian suatu bagian dari sistem dengan pekerjaan pencatatan, pengadaan suku cadang, menyimpan dan

mengeluarkannya serta kegiatan–kegiatan lainnya.

Sedangkan elemen ongkos yang tercukup dalam perawatan adalah sebagai berikut :

- Ongkos montir
- Ongkos menganggur karena sistem tidak beroperasi disebut juga ongkos kehilangan kesempatan untuk memperoleh keuntungan akibat sistem tidak beroperasi.
- Ongkos suku cadang alat yang harus diganti dan bahan–bahan lainnya yang diperlukan dalam perawatan.

II.7 Menaksir Parameter Keandalan Distribusi Weibull

Fungsi kemungkinan keandalan distribusi weibull dengan dua parameter adalah :

$$R(t) = \exp \left[- \left(\frac{t}{\alpha} \right)^\beta \right] \quad (2.14)$$

dimana : $t > 0, \alpha > 0, \beta > 0$

β = Merupakan parameter bentuk atau sudut kemiringan Weibull

θ = Merupakan parameter skala atau karakteristik umur.

Persamaan diatas dapat ditransformasikan keandalan persamaan sebagai berikut :

$$1 / R(t) = \exp \left[\left(t / \alpha \right)^\beta \right] \quad (2.15)$$

$$\ln \cdot 1 / R(t) = (t / \theta)$$

$$\ln 1/R(t) = \ln(t/\theta) =$$

$$\ln 1/R(t) = \ln t - \beta \ln$$

Bentuk persamaan diatas merupakan persamaan garis berbentuk

$$Y = Bx + C$$

$$\text{dimana : } Y = \ln 1/R(t)$$

$$x = \ln t$$

$$B = \beta$$

$$C = -\beta \ln \theta$$

Untuk menaksir harga B dan C dapat digunakan metoda kwadrat terkecil akan dijelaskan sebagai berikut :

Misalkan suatu persamaan garis $Y=f(x)$ untuk selang waktu tertentu pengamatan sudah dilakukan, sehingga menghasilkan data $X_i + X_i$ dan $Y_i + Y_i$ dimana $i = 1,2,3,..n$. Bila semua data pengamatan ini digambarkan dalam grafik dua dimensi (Y.X) umumnya tidak membentuk suatu garis tertentu, dan akan terlihat bahwa dengan adanya fluktuasi yang ada pada data tersebut, banyak bentuk garis yang dapat ditarik melalui data tersebut.

Bentuk garis yang terbaik adalah garis yang paling sesuai dengan pengamatan dimana letak garis sedemikian rupa sehingga simpangan data terhadapnya sekecil–kecilnya, yang disebut sebagai metoda kwadrat terkecil artinya simpangan semua nilai terhadapnya setelah dikwadratkan menjadi sekecil–kecilnya.

$$\text{Bentuk umum persamaan : } Y = BX + C \quad (2.16)$$

Simpangan y_i terhadap sumbu y adalah :

$$\sigma y_i = y_i - (BX + C) \quad (2.17)$$

Jika dikwadratkan akan menjadi :

$$(\sigma y_i)^2 = (y_i - BX_i - C)^2 \quad (2.18)$$

Bila E merupakan jumlah $(\sigma y_i)^2$ dari (1 s/d n) maka :

$$E = \sum_{i=1}^n (\sigma y_i)^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - Bx_i - C)^2 \quad (2.19)$$

dimana σ adalah fungsi dari bilangan B dan C, dimana ;

B = Kemiringan garis lurus

C = Perpotongan dengan sumbu y

Dengan demikian maka nilai E menjadi sekecil-kecilnya.

$$\left[\frac{\partial E}{\partial B} \right] = 0 = \sum_{i=1}^n (y_i - Bx_i - C)x_i \quad (2.20)$$

$$\left[\frac{\partial E}{\partial C} \right] = 0 = \sum_{i=1}^n (y_i - Bx_i - C) \quad (2.21)$$

Jika terus dijabarkan diperoleh : (2.22)

$$B = \frac{n \sum (x_i y_i) - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

didapat $\beta = B$

$$C = \frac{\sum x_i^2 \sum y_i - \sum x_i \sum (x_i y_i)}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (2.23)$$

didapat $\theta = e^{-C/B}$

II.8 Model Perawatan Pencegahan I dan II

Model pencegahan model I, tidak diijinkan terjadinya suatu kerusakan, bila terjadi kerusakan dalam selang waktu tertentu, maka mesin langsung dihentikan untuk diperbaiki, diperiksa, dibersihkan apabila ada komponen yang perlu diganti, kemudian mesin dilakukan penjadwalan perawatan kembali selama waktu tertentu T. Dengan demikian kondisi mesin sebelum mengalami kerusakan sama dengan kondisi mesin setelah mengalami kerusakan.

Perawatan pencegahan model II, apabila terjadi kerusakan, maka mesin langsung dihentikan untuk diperbaiki pada bagian yang mengalami kerusakan saja, kemudian dioperasikan kembali, dan apabila selang waktu perawatan tercapai maka dilakukan perawatan terhadap mesin. Dengan demikian kondisi mesin sebelum mengalami kerusakan tidak sama dengan kondisi mesin setelah mengalami kerusakan.

Tetapi walaupun strateginya berbeda, namun kedua model ini mempunyai tujuan yang sama yaitu memntukan selang waktu perawatan pencegahan yang optimal dengan kriteria meminimumkan ongkos perawatan.

Secara matematis persoalan diatas dapat diformulasikan sebagai berikut :

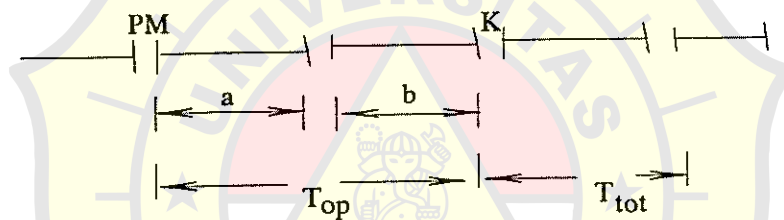
$$C(T) = \frac{C_{\text{tot}}(T)}{T_{\text{tot}}(T)} \quad (2.24)$$

dimana :

$C(T)$ = Ekspektasi ongkos operasi, apabila perawatan pencegahan dilakukan pada waktu T .

$C_{\text{tot}}(T)$ = Ekspektasi ongkos total persiklus perawatan pencegahan dilaksanakan setiap interval T .

Contoh perawatan pencegahan dapat dilihat dalam gambar 2.10 dibawah ini.



Gambar 2.10 : Pelaksanaan Perawatan Pelaksanaan

Keterangan :

T_{op} = Ekspektasi waktu Operasi $a + b$

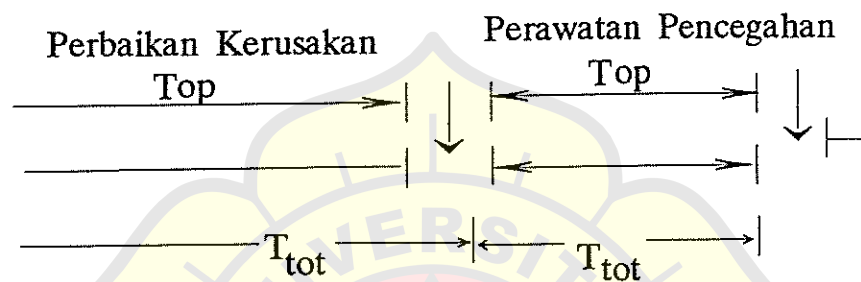
T_{tot} = Ekspektasi waktu Total

PM = Preventive Maintenance (perawatan pencegahan)

K = Kerusakan

2.8.1 Menentukan Jadwal Perawatan Yang Optimum Untuk Meminimumkan Ongkos Perawatan Berdasarkan Model I

Dalam menentukan interval waktu perawatan pencegahan berdasarkan model I ini, terdapat dua siklus waktu operasi yaitu, siklus pertama diakhiri oleh perawatan pencegahan. Pada gambar 2. 11 dibawah ini menyatakan dua siklus yang terdapat pada model I.



Gambar 2.11 : Perawatan Pencegahan Model I

Seperti yang telah dinyatakan sebelumnya bahwa :

$$C(T_1) = \frac{C_{tot}(T_1)}{T_{tot}(T_1)} \quad (2.25)$$

dimana :

$C(T_1)$ = Ekspektasi ongkos operasi apabila perawatan pencegahan dilakukan pada waktu T_1 .

$C_{tot}(T_1)$ = Ekspektasi ongkos total persiklus.

= (ongkos perawatan pencegahan X kemungkinan terjadinya siklus perawatan pencegahan) + (ongkos yang kerusakan X kemungkinan terjadinya siklus perbaikan kerusakan).

$$= C_{pm} \cdot R(T_1) + C_{pk} \cdot \{1 - R(T_1)\} \quad (2.26)$$

dimana :

$R(T_1)$ = Fungsi keandalan mesin sampai waktu T_1 (besarnya kemungkinan mesin masih beroperasi sekurang–kurangnya sampai waktu T_1).

$$= \int_{t_1}^{\infty} f(t) dt \quad (2.27)$$

C_{pm} = Ongkos montir + ongkos mengganggu mesin x waktu perawatan pencegahan + penggantian komponen.

C_{pk} = Ongkos montir + ongkos mengganggu mesin x waktu perawatan kerusakan + penggantian komponen.

$T_{tot}(T_1)$ = Ekspektasi waktu total persiklus bila perawatan pencegahan dilaksanakan setiap interval T_1 .

= (Panjang total siklus yang diakhiri oleh perawatan pencegahan) x (terjadinya siklus pencegahan) + (panjang total siklus yang diakhiri oleh perbaikan kerusakan x kemungkinan terjadinya siklus perbaikan kerusakan).

$$= (t_1 + T_{pm}) \cdot R(T_1) + \{M(T_1) + T_{pk}\} \{1 - R(T_1)\}.. \quad (2.28)$$

dimana :

$M(T_1)$ = Waktu rata–rata dari kerusakan dengan distribusi kemungkinan berhenti pada saat t_1 .

$$= \frac{\int_0^{t_1} t \cdot f(t) dt}{1 - R(T_1)} \quad (2.29)$$

T_{pm} = Waktu rata–rata yang diperlukan untuk melaksanakan perawatan pencegahan.

T_{pk} = Waktu rata-rata yang diperlukan untuk melaksanakan perbaikan kerusakan.

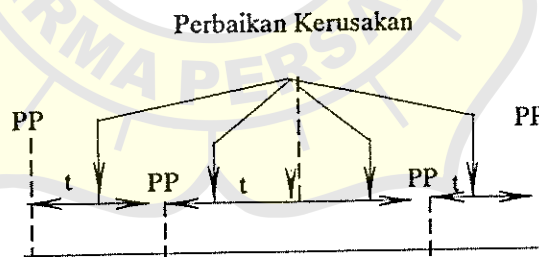
maka :

$$C(T_1) = \frac{C_{pm} \cdot R(T_1) + C_{pk} \cdot \{1 - R(T_1)\}}{(t_1 + T_{pm}) \cdot R(T_1) + \{M(T_1) + T_{pk}\} \{1 - R(T_1)\}}$$

Jadi harga T_1 yang paling minimum adalah harga T_1 yang menghasilkan ekspektasi ongkos total perhari yang paling minimum.

2.8.2 Menentukan Jadwal Perawatan Yang Optimum Untuk Meminimumkan Ongkos Perawatan Berdasarkan Model II

Dalam menentukan interval waktu perawatan pencegahan berdasarkan model II ini, hanya terjadi satu siklus operasi saja. Metoda pelaksanaan perawatan pencegahan ini dapat dilukiskan pada gambar 2.12 dibawah ini.



Gambar 2.12 : Perawatan Pencegahan Model II

Seperti halnya pada model I bahwa :

$$C(T_1) = \frac{C_{tot}(T_1)}{T_{tot}(T_1)} \tag{2.31}$$

dimana :

$C(T_2)$ = Ekspektasi ongkos operasi apabila perawatan pencegahan dilakukan pada waktu T_2 .

$C_{tot}(T_2)$ = Ekspektasi ongkos total persiklus bila perawatan pencegahan dilaksanakan pada waktu T_2 .

= (ongkos perawatan pencegahan + (ekspektasi jumlah kerusakan x ongkos rata-rata untuk perawatan pencegahan).

$$= C_{pm} + H(T_1) \cdot (C_{pk}) \quad (2.32)$$

dimana :

$H(T_1)$ = Ekspektasi jumlah kerusakan yang terjadi dalam selang waktu $(0, T_2)$.

$$= T_2 - H(T_2) \cdot (T_{pk}) \quad (2.33)$$

C_{pm} = Ongkos montir + ongkos mengganggu mesin x waktu perawatan pencegahan + ongkos penggantian komponen.

C_{pk} = Ongkos montir + ongkos mengganggu mesin x waktu perawatan kerusakan + ongkos penggantian komponen perbaikan kerusakan.

$T_{tot}(T_2)$ = Panjang waktu total persiklus

= Panjang siklus perawatan pencegahan + waktu rata-rata untuk perawatan pencegahan.

$$= T_2 + T_{pm} \quad (2.34)$$

maka :

$$C(T_2) = \frac{C_{pm} - H(T_2) \cdot (T_{pk})}{T_2 + T_{pm}} \quad (2.35)$$

Jika harga T_2 yang paling minimum adalah harga T_2 yang menghasilkan ekspektasi ongkos total perhari yang paling minimum.

