

## **BAB 2**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Perawatan Mesin**

Supandi (1990) mendefinisikan pemeliharaan sebagai gagasan semua tindakan yang diperlukan untuk menjaga kualitas peralatan atau tetap beroperasi seperti sebelumnya.

Dari pengertian diatas dapat ditarik beberapa kesimpulan :

- 1) Fungsi perawatan berhubungan erat dengan proses produksi.
- 2) Peralatan dapat digunakan terus menerus untuk produksi sebagai hasil pemeliharaan / perawatan.
- 3) Banyak aktivitas perawatan yang berkaitan erat dengan penggunaan peralatan, material kerja, metode penanganan, dan aktivitas lainnya.
- 4) Kegiatan perawatan harus dikontrol sesuai dengan kondisi yang terjaga.

Kegiatan perawatan dilakukan untuk meningkatkan kualitas, dengan cara memperbaiki satu kondisi ke kondisi lain yang lebih baik. Jumlah pekerjaan pemeliharaan yang akan dilakukan tergantung pada :

- 1) Batas kualitas komponen terendah yang diijinkan.

Meskipun batas kualitas yang lebih tinggi dapat dicapai sebagai hasil dari pekerjaan pemeliharaan

- 2) Waktu penggunaan atau waktu kerja menyebabkan penurunan kualitas peralatan.

Dalam hal ini, bagian (peralatan) dapat mengalami tekanan, beban abrasif, korosi dan lainnya pengaruh yang dapat menyebabkan kerugian atau penurunan yang

mengakibatkan hilangnya atau penurunan kualitas, Maka Kapasitansi bagian mengurangi resistansinya.

Istilah perawatan dapat dipahami sebagai upaya memelihara atau memperbaiki masing – masing instalasi, seperti, peralatan, bangunan dan isinya agar memenuhi standar yang diterima.

Dalam hal ini sering digunakan gabungan istilah “*maintenance*” dan “*repair*” (pemeliharaan dan perbaikan) karena begitu erat kaitannya. Tujuan penggabungan tersebut adalah :

- 1) Perawatan sebagai kegiatan yang bertujuan untuk mencegah kerusakan.
- 2) Perbaikan sebagai operasi untuk memperbaiki kerusakan.

Tujuan dilakukannya kegiatan perawatan (*maintenance*) adalah sebagai berikut :

- a. Memungkinkan kualitas produk dan kepuasan pelanggan dicapai melalui penyesuaian, pemeliharaan (layanan) dan pengoperasian peralatan.
- b. Meminimalkan total biaya produksi yang berhubungan langsung dengan pemeliharaan dan perbaikan.
- c. Memperpanjang umur pakai suatu mesin atau peralatan.
- d. Minimalkan frekuensi dan intensitas gangguan selama pengoperasian.
- e. Memastikan keamanan sistem dan mencegah berkembangnya pelanggaran atau gangguan keamanan.
- f. Meningkatkan kapasitas, produktivitas, dan efisiensi dari sistem yang ada.

Untuk dapat menjaga/memelihara mesin dalam keadaan siap pakai, umumnya langkah-langkah yang dapat dilakukan adalah:

- 1) Lakukan pengecekan secara berkala untuk mencegah kerusakan.
- 2) Merancang mesin dan peralatan yang mampu mendukung pemeriksaan dan perbaikan mesin tersebut.

- 3) Menyediakan peralatan perawatan yang lengkap untuk teknisi.
- 4) Menerapkan kebijakan pemeliharaan atau perawatan pencegahan dengan mengganti bagian-bagian penting sebelum rusak total.
- 5) Memelihara suku cadang agar selalu dalam kondisi baik dan siap digunakan.

## 2.2 Jenis-Jenis Perawatan

Secara umum ditinjau dari pelaksanaan pekerjaan pemeliharaan dapat dibagi menjadi dua cara :

1. Perawatan yang direncanakan (*Planned Maintenance*).  
Atur pekerjaan pemeliharaan yang dilakukan dengan cara yang bijaksana, terkendali, dan terdokumentasi.
2. Perawatan yang tidak direncanakan (*Unplanned Maintenance*).  
melakukan pemeliharaan darurat tidak terjadwal (*Unplanned emergency maintenance*).

Bentuk perawatan / pemeliharaan dibagi menjadi beberapa kelompok yaitu:

- a. Perawatan Preventif (*Preventive Maintenance*).

Pekerjaan perawatan atau pemeliharaan yang bertujuan untuk mencegah terjadinya kerusakan, atau metode perawatan yang bertujuan untuk pencegahan (preventif). Perawatan preventif dimaksudkan juga untuk mengefektifkan pemeriksaan, perbaikan kecil, pelumasan dan penyetelan sehingga peralatan atau mesin dalam pengoperasiannya dapat dihindarkan dari kerusakan. Perawatan preventif dilakukan sebelum kerusakan terjadi.

Perawatan preventif ini penting bagi industri yang memiliki proses produksi berkelanjutan atau menggunakan sistem otomatis, seperti :

- a) Pabrik kimia, industri rolling baja, kilang minyak, produksi massal dan sebagainya.
- b) Jika kemacetan produksi terjadi karena adanya kerusakan dapat menimbulkan biaya yang sangat tinggi.
- c) Jika terjadi kegagalan kecil pada bagian penting instalasi, dapat menyebabkan kegagalan seluruh proses.
- d) Jika terjadi kejadian atau kerusakan yang bersifat sangat berbahaya seperti boiler, bejana tekan, alat pengangkat, dan lain-lain.

Kegiatan *preventive maintenance* dibagi menjadi dua kelompok :

1. *Subjective Monitoring*

Pemantauan dilakukan dengan menggunakan indra seperti pendengaran, penglihatan, peraba, perasa dan penciuman, kemudian memperkirakan kondisi berdasarkan indera tersebut. Perawatan ini bersifat subyektif karena bergantung pada keterampilan operator dalam memantau kondisi mesin.

2. *Objective Condition Monitoring*

Pemantauan dilakukan atas dasar hasil yang dinyatakan melalui pengukuran dengan alat ukur. Pada metode ini pemeliharaan dilakukan dengan cara menempelkan alat ukur pada peralatan atau mesin yang sedang tidak beroperasi, kemudian sensor alat ukur akan memberikan informasi apabila terjadi penyimpangan.

- b. Perawatan Korektif (*Corrective Maintenance*).

Pekerjaan perawatan atau pemeliharaan yang dilakukan untuk memperbaiki dan meningkatkan kondisi instalasi ke tingkat yang dapat diterima. Perawatan korektif termasuk dalam jadwal pemeliharaan yang

direncanakan untuk perbaikan. Dalam perawatan ini, seseorang dapat memperbaiki sedemikian rupa, misalnya dengan mengubah atau memodif desain perangkat agar lebih baik. Hilangkan masalah berbahaya untuk mencapai kondisi pengoperasian yang lebih ekonomis.

c. Perawatan Berjalan (*Running Maintenance*).

Perawatan atau pemeliharaan yang dilakukan selama proses pengoperasian mesin atau peralatan. Pemeliharaan berkelanjutan ini mencakup prosedur pemeliharaan terjadwal yang diterapkan pada peralatan dalam pengoperasian normal. Pemeliharaan kondisi operasi berlaku pada mesin yang terus – menerus selama produksi. Secara aktif memantau kegiatan pemeliharaan. Hasil perbaikan yang terencana dan tepat waktu diharapkan dapat menjamin kondisi proses produksi tanpa adanya gangguan yang dapat mengakibatkan kerusakan.

d. Perawatan Prediktif (*Predictive Maintenance*)

Perawatan atau pemeliharaan prediktif digunakan untuk mengidentifikasi perubahan atau tidak normalnya kondisi fisik atau sistem operasional mesin atau peralatan. Biasanya perawatan atau pemeliharaan prediktif dilakukan dengan menggunakan panca Indera atau alat yang canggih. Teknik dan alat yang digunakan untuk memantau kondisi mesin atau peralatan bertujuan agar pekerjaan menjadi lebih efisien sehingga kelainan dapat diidentifikasi dengan cepat dan akurat. Kelola sistem pemantauan peting untuk mendapatkan hasil nyata tanpa harus menganalisa semuanya.

e. Perawatan Setelah Terjadi Kerusakan (*Breakdown Maintenance*)

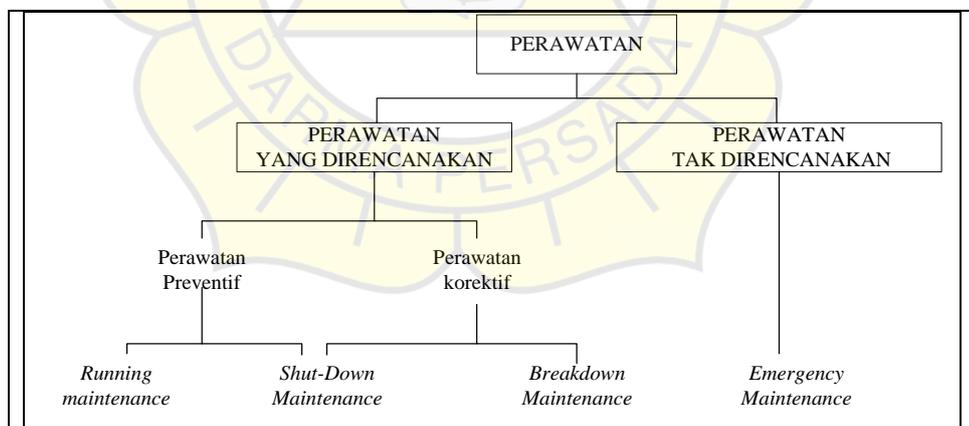
Perawatan atau pemeliharaan ini dilakukan setelah terjadi kegagalan, karena perbaikannya memerlukan persiapan suku cadang, bahan, alat dan tenaga kerja. Beberapa peralatan beroperasi secara terpisah atau terpisah

dari tahapan lainnya sehingga tidak akan mempengaruhi keseluruhan proses produksi jika terjadi kerusakan. Untuk peralatan ini, pemeliharaan tidak diperlukan karena biaya pemeliharaan lebih besar daripada biaya kegagalan. Dalam kondisi spesifik ini, peralatan tetap bekerja hingga rusak, sehingga waktu produksi tidak berkurang. Penerapan sistem perawatan ini dilakukan pada mesin-mesin industri ringan, dimana kerusakan dapat diperbaiki dengan cepat.

f. Perawatan Darurat (*Emergency Maintenance*)

Tindakan perbaikan yang segera diambil sebagai respons terhadap situasi darurat seperti kemacetan atau kerusakan yang tak terduga. Perawatan darurat ini merupakan bentuk pemeliharaan yang dilakukan tanpa perencanaan sebelumnya, sering disebut juga sebagai perawatan yang tidak terjadwal. (*unplanned maintenance*).

Gambaran hubungan masing-masing perawatan terlihat pada gambar 2.1



Gambar 2. 1 Hubungan antara berbagai bentuk perawatan

Sumber : Supandi (1990)

Pada dasarnya, tidak semua bentuk perawatan atau pemeliharaan cocok untuk setiap mesin atau peralatan. Oleh karena itu, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam memilih metode perawatan yang tepat, karena pemilihan strategi perawatan yang tepat dapat menciptakan kondisi yang optimal pada

mesin/peralatan. Ada beberapa faktor yang dijadikan acuan pemilihan metode perawatan atau pemeliharaan yang tepat, yaitu :

- 1) Banyaknya mesin/peralatan yang digunakan.
- 2) Umur masing-masing mesin yang digunakan.
- 3) Tingkat produksi perusahaan.
- 4) Tingkat keahlian teknisi yang dimiliki perusahaan.

Melaksanakan kegiatan perawatan atau pemeliharaan tidak dapat dipisahkan dari penjadwalan pemeliharaan atau perawatan. Jadwal pemeliharaan atau perawatan setiap part pada setiap mesin dapat berbeda – beda, tergantung dari lamanya masa kegagalan dan kapasitas kinerja mesin atau part yang bersangkutan.

Maka dari itu, menggunakan nilai rata-rata waktu hingga kegagalan (MTTF) sebagai panduan untuk menyusun jadwal perawatan memiliki signifikansi yang mendasar dalam menghindari perawatan yang berlangsung terlalu sering atau terlalu jarang. Jika perawatan dilakukan dengan terlalu sering, bisa berakibat pada pemborosan sumber daya seperti biaya, tenaga kerja, dan waktu. Di sisi lain, jika perawatan dilakukan jarang, risiko kerusakan awal pada mesin atau komponen justru akan meningkat.

### **2.3 Kaidah Perawatan**

Kaidah perawatan menjadi acuan dalam melakukan kegiatan perawatan, terutama sebagai alat bantu dalam melakukan analisis awal terhadap mesin atau instalasi yang akan dirawat. Acuan-acuan tersebut meliputi acuan arti pemeliharaan sistem, kelayakan sistem, operabilitas, ketersediaan sistem (availability), keandalan sistem (reliability) dan penggunaan sumber daya.

a. Perawatan Sistem

Perawatan Sistem adalah kegiatan yang dilakukan untuk memastikan bahwa sistem selalu siap digunakan atau mengembalikan keadaan sistem ke keadaan siap pakai. .

b. Kelayakan Sistem

Kelayakan sistem adalah kemampuan sistem yang dirancang untuk menjalankan fungsinya dengan aman dan di bawah kondisi operasi yang telah ditetapkan, ditentukan oleh dimensi konfigurasi, standar konstruksi, karakteristik kinerja, dan spesifikasi.

c. Kemampuan Operasional

Kemampuan Operasional adalah kemampuan suatu mesin atau sistem untuk melakukan berbagai aktivitas sebagaimana diinginkan atau diperlukan.

d. Kesiapan (*Availability*)

Kesiapan (*availability*) adalah keadaan mesin dan peralatan baik kuantitas maupun kualitas, layak digunakan selama pengoperasian. Kesiapan dapat digunakan untuk menilai keberhasilan atau efektivitas kegiatan pemeliharaan yang telah dilakukan.

e. Keandalan (*Reliability*)

Keandalan ( *reliability* ) adalah kemampuan suatu sistem atau perangkat untuk melakukan tugas atau fungsi tertentu dalam kondisi tertentu tanpa masalah.

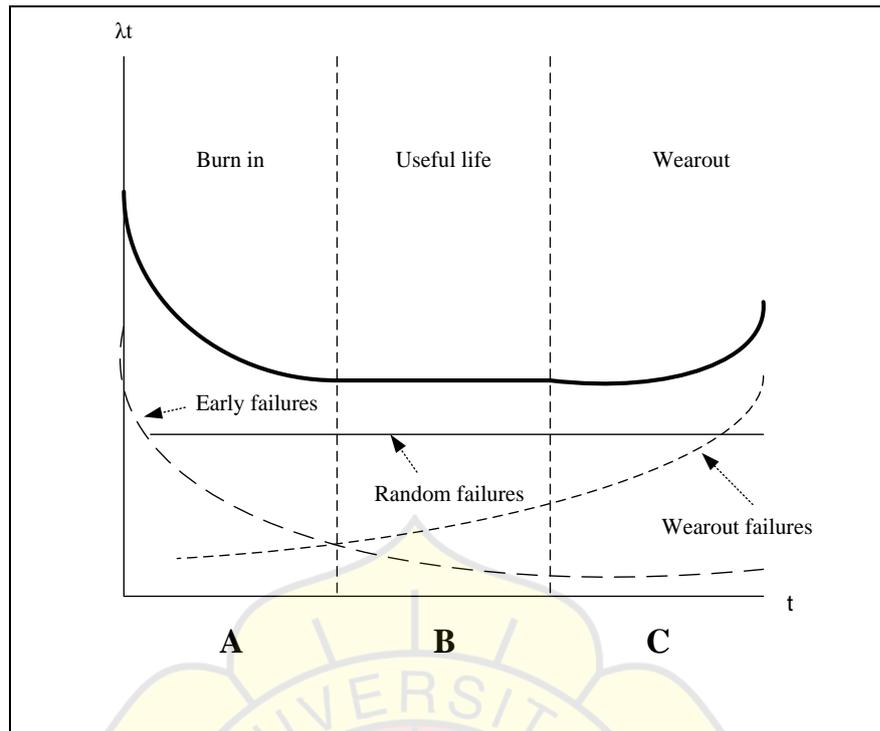
f. Penggunaan Sumber Daya

Kriteria efisiensi erat kaitannya dengan penggunaan sumber daya yang paling efisien, sehingga segala kegiatan pemeliharaan yang tidak memberikan dampak positif terhadap lingkungan harus dihindari atau bahkan diminimalkan.

## 2.4 Konsep Keandalan (*Reliability*)

Terdapat beberapa definisi dari keandalan, yaitu :

1. Kapur (1977) mendefinisikan keandalan adalah probabilitas bahwa ketika suatu operasi berlangsung pada kondisi lingkungan tertentu, sistem menunjukkan kemampuan untuk sesuai dengan fungsi yang diharapkan pada selang waktu tertentu.
2. Ebeling (1997) mendefinisikan Keandalan adalah probabilitas bahwa suatu perangkat atau bagian dapat berfungsi dengan benar untuk jangka waktu tertentu bila digunakan dalam kondisi pengoperasian tertentu.
3. Secara pengertian umum, Keandalan dapat diartikan sebagai tolok ukur kemampuan suatu bagian atau sistem untuk berfungsi dalam kondisi operasi tertentu dalam jangka waktu tertentu. Pengetahaun tentang keadalan sistem terlebih dahulu harus memperhatikan tingkat kegagalan sistem. Tingkat kegagalan sistem biasanya digambarkan bathub curve seperti terlihat pada gambar 2.2



Gambar 2. 2 *Bathtub curve*

Sumber : Ebeling (1997)

Keterangan gambar *bathtub curve* :

- A. Suatu kondisi yang terjadi pada tahap awal penggunaan alat, dimana tingkat kegagalan terus menurun dari waktu ke waktu. Kemungkinan kegagalan pada tahap ini disebabkan oleh kurangnya pengetahuan operator dalam menggunakan alat, kontrol kualitas yang buruk, .dll.
- B. Pada fase ini, kerusakan yang timbul relatif konstan dan salah satu penyebabnya adalah akibat *human error*.
- C. Tahap akhir dari penggunaan alat. Tahap ini ditandai dengan peningkatan kerusakan dan penurunan fungsionalitas perangkat. Pada umumnya kerusakan yang terjadi pada periode ini disebabkan oleh keausan, penuaan dan kelelahan alat yang digunakan.

## 2.5 Konsep Maintenabilitas

Maintenabilitas suatu pemeliharaan didefinisikan sebagai probabilitas bahwa peralatan yang rusak akan kembali berfungsi dalam periode pemeliharaan tertentu, ketika tindakan pemeliharaan seperti perbaikan, perombakan, atau penggantian dilakukan. Pemeliharaan terkait erat dengan standar desain peralatan. Secara Matematis, Mainteinabilitas Dirumuskan sebagai berikut :

$$M_{(t)} = \int_0^T g_{(t)} dt$$

Dimana :

Fungsi  $g(t)$  mewakili distribusi probabilitas kepadatan waktu yang diperlukan dalam menjalankan tindakan pemeliharaan. Formula digunakan untuk menghitung nilai MTTR (Mean Time To Repair) atau rata-rata waktu perbaikan yang digunakan adalah :

$$MTTR = \frac{\sum_{i=1}^m \lambda_i T_i}{\sum_{i=1}^m \lambda_i}$$

Dimana :

$T_i$  : Durasi pemeliharaan yang diperlukan pada komponen yang mengalami kerusakan.

$M$  : Jumlah komponen yang menjalani proses perbaikan dalam pemeliharaan

$\lambda$  : Tingkat kegagalan komponen  $i$ .

## 2.6 Konsep Availabilitas

Availabilitas mengacu pada kemampuan peralatan untuk melakukan operasi yang memuaskan dalam kondisi dan periode waktu tertentu. Secara matematis, ketersediaan dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\text{Availabilitas} = \frac{\text{uptime}}{\text{uptime} + \text{downtime}}$$

Konsep availabilitas mengandung dua komponen utama, yaitu :

a. *Maintenabilitas ( Maintainability )*

b. *Keandalan ( Realibility )*

Tingkat keandalan yang rendah dapat diimbangi dengan peningkatan upaya perawatan agar ketersediaan mesin menjadi optimal. Ketersediaan serta biaya yang diperlukan untuk melakukan tindakan pemeliharaan merupakan dua faktor kunci yang harus diperhitungkan saat menentukan jadwal pemeliharaan preventif yang optimal.

Istilah Availabilitas sering digunakan untuk merujuk pada ketersediaan sistem (yakni: tingkat, persentase, atau probabilitas bahwa sistem akan siap atau tersedia saat sedang digunakan). Availabilitas dapat dinyatakan berbeda tergantung pada tugas dan sistem. 3 bentuk penyampaian layanan yang umum digunakan adalah:

### 1. *Inherent Availability (Ai)*

Probabilitas suatu sistem atau peralatan akan dioperasikan pada kondisi tertentu dalam lingkungan pendukung yang ideal (misalnya : ketersediaan, peralatan, suku cadang, personil pemeliharaan, dll.) akan selalu berfungsi dengan baik setiap saat bila diperlukan. Tidak termasuk tindakan pemeliharaan terjadwal atau preventif, LDT (*logistic Down Time*) dan ADT (*Administrasi Down Time*).

## 2. *Achieved Availability (Aa)*

Probabilitas bahwa suatu sistem akan digunakan dalam kondisi yang telah ditentukan dalam lingkungan pendukung yang ideal (misalnya: segera tersedia, peralatan, suku cadang, personal, dll.) akan selalu dalam keadaan baik. Definisi ini sama dengan  $A_i$ , hanya saja dalam hal perawatan preventif, LDT dan ADT tidak termasuk.

## 3. *Operational Availability (Ao)*

Probabilitas bahwa suatu sistem atau peralatan, jika digunakan dalam kondisi tertentu dalam lingkungan operasi aktual (nyata), akan bekerja dengan baik jika diperlukan untuk beroperasi.

## 2.7 Distribusi Kerusakan

Pada prinsipnya, ada beberapa bentuk distribusi kerusakan yang dapat diterapkan dalam strategi pemeliharaan, seperti distribusi eksponensial, distribusi Weibull, dan distribusi normal. Distribusi yang memiliki tingkat penurunan yang konstan juga dikenal sebagai distribusi probabilitas eksponensial. Distribusi eksponensial memiliki peran sentral dalam analisis kepercayaan. Selain itu, terdapat pilihan distribusi lain seperti distribusi Weibull dan distribusi normal. Ketiga distribusi ini memiliki karakteristik perubahan laju kerusakan yang tidak konstan, memberikan opsi lain selain distribusi eksponensial yang umum digunakan dalam analisis kerusakan.

Salah satu distribusi kerusakan yang sangat berguna dalam menilai keandalan adalah distribusi Weibull. Distribusi Weibull mampu digunakan untuk menggambarkan perubahan dalam tingkat kerusakan, baik itu meningkat atau menurun. Dalam naskah tugas akhir ini, distribusi Weibull dipilih sebagai distribusi yang digunakan. Keputusan ini didasarkan pada fakta bahwa distribusi kerusakan

ini mencerminkan kondisi kegagalan mesin saat ini, dan distribusi Weibull memiliki sejumlah keunggulan dibandingkan dengan distribusi lainnya. Distribusi ini sangat fleksibel dalam memodelkan berbagai karakteristik distribusi kerusakan karena memiliki parameter bentuk ( $\beta$ ) yang memungkinkan adanya berbagai tingkat kenaikan atau penurunan yang dapat diungkapkan dengan nilai parameter  $\beta$  yang berbeda. Di bawah ini adalah beberapa pola distribusi kerusakan yang sesuai dengan berbagai nilai  $\beta$ , seperti yang telah dikemukakan dalam penelitian sebelumnya (Abraham, 2011; Syahrudin, 2012):

$\beta < 1$ , maka distribusi *weibull* tersebut mengikuti distribusi hiperekspensial

$\beta = 1$ , maka distribusi *weibull* tersebut mengikuti distribusi eksponensial

$\beta > 1$ , maka distribusi *weibull* tersebut mengikuti distribusi normal.

Terdapat dua macam distribusi *weibull* yang dapat digunakan, yaitu distribusi *weibull* dua parameter dan distribusi *weibull* tiga parameter. Sesuai dengan namanya distribusi *weibull* dua parameter mempunyai dua buah parameter, yaitu:

- Parameter bentuk ( $\beta$ )  
Merupakan parameter yang menggambarkan bentuk dari distribusi kerusakan.
- Parameter skala ( $\theta$ )  
Merupakan parameter yang menggambarkan umur karakteristik dari alat/komponen.

Dalam hal distribusi Weibull tiga parameter, terdapat tiga parameter yang relevan, yaitu parameter bentuk ( $\beta$ ), parameter skala ( $\theta$ ), dan parameter lokasi ( $t_0$ ). Distribusi Weibull tiga parameter berguna saat ada periode minimum yang diperlukan oleh sistem sebelum munculnya kerusakan, yang disebut selang waktu  $t_0$ . Dalam konteks penelitian tugas akhir ini, distribusi Weibull dua parameter dipilih

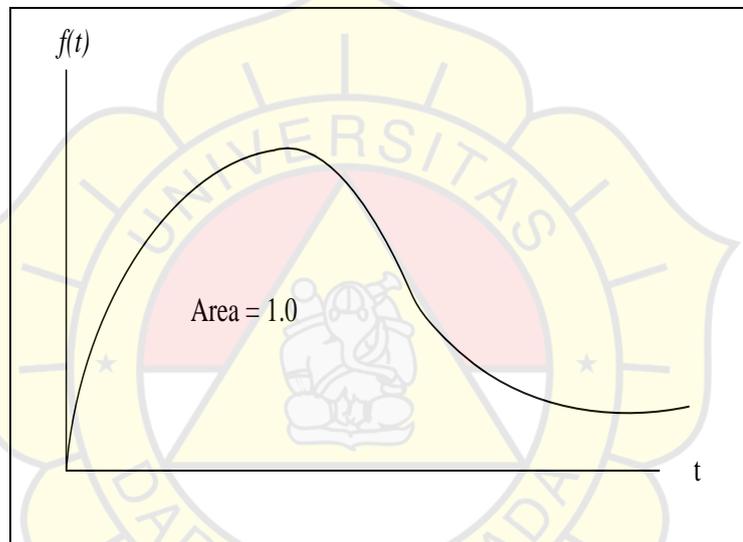
karena pada mesin press 150, tidak ada informasi yang tersedia mengenai selang waktu minimum sebelum terjadinya kerusakan.

Beberapa fungsi yang ada dalam distribusi weibull 2 parameter yaitu :

a. Fungsi kepadatan probabilitas (pdf).

Merupakan probabilitas terjadinya kerusakan pada setiap satuan waktu.

$$f(t) = \left(\frac{\beta}{\theta}\right) \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta}$$



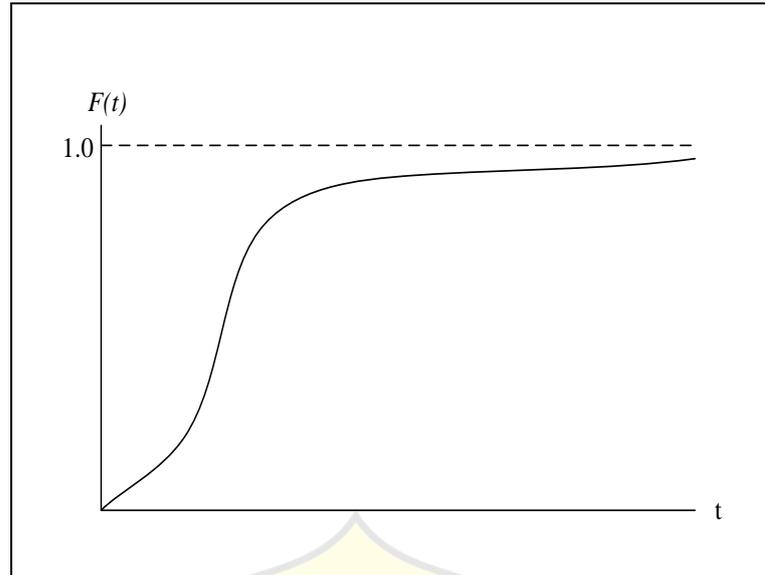
Gambar 2. 3 Fungsi kepadatan probabilitas

Sumber : Ebeling (1997)

b. Fungsi kumulatif distribusi kerusakan.

Merupakan probabilitas terjadinya kerusakan sebelum waktu t

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta}$$



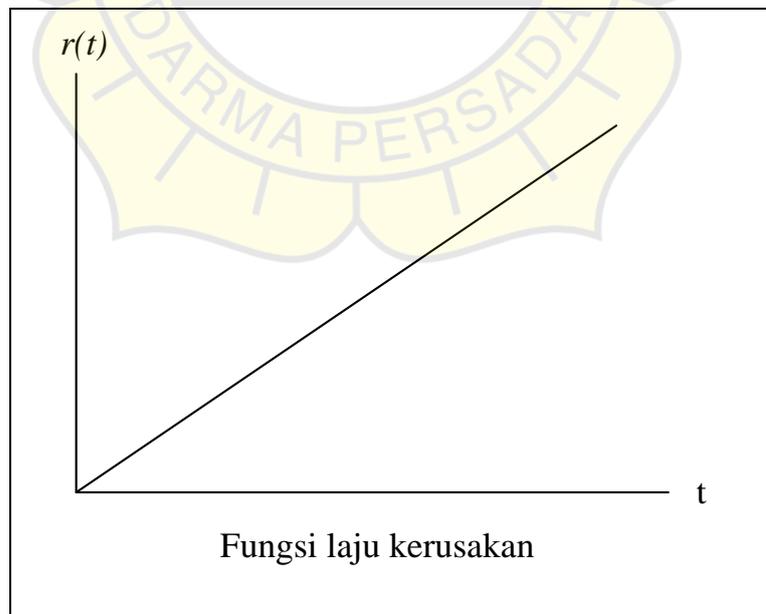
Gambar 2. 4 Fungsi kumulatif distribusi kerusakan

Sumber : Ebeling (1997)

c. Fungsi laju kerusakan.

Merupakan gambaran laju kerusakan dalam selang waktu tertentu

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



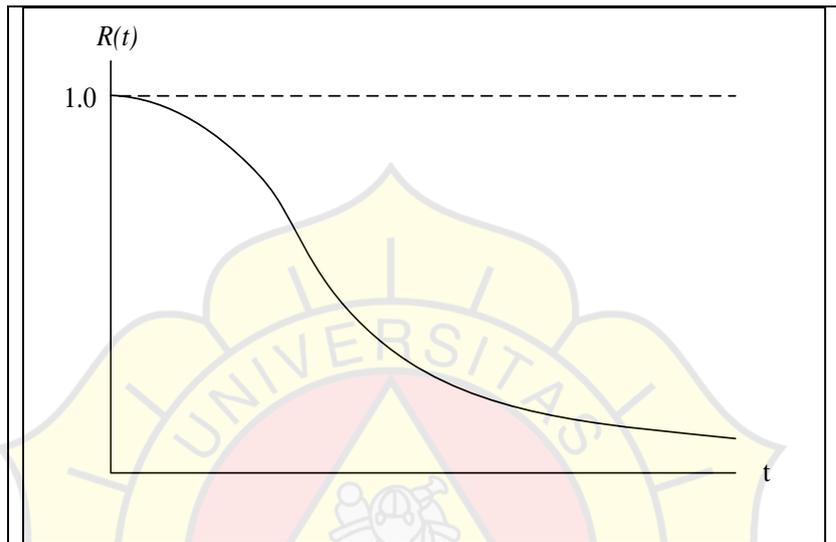
Gambar 2. 5 Fungsi laju kerusakan

Sumber : Jardine (1973)

d. Fungsi keandalan

merupakan probabilitas suatu alat/ komponen dapat berfungsi sampai suatu periode t

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta}}$$



Gambar 2. 6 Fungsi keandalan

Sumber : Ebeling (1997)

Beberapa distribusi kerusakan yang lainnya antara lain :

1. Distribusi Hiperexponensial

Diterapkan dalam konteks pemeliharaan kerusakan, distribusi hiperekspensial digunakan ketika terjadinya kerusakan dengan lamanya waktu yang lebih sering daripada yang dijelaskan oleh distribusi eksponensial. Fungsi-fungsi yang mendasari distribusi hiperekspensial adalah :

- a. Fungsi kepadatan probabilitas  $f(t)$

$$f(t) = 2K^2 \cdot \lambda \cdot e^{(-2K\lambda t)} + 2\lambda(1-K)^2 \cdot e^{\{-2(1-K)\lambda t\}}$$

Untuk  $t > 0$ , dengan  $0 < K < 0,5$

Dimana :  $\lambda$  = Rata-rata nilai kedatangan kerusakan

$K$  = Parameter dari distribusi

- b. Fungsi kumulatif kerusakan  $F(t)$

$$\begin{aligned} F(t) &= (1-K) e^{(-2K\lambda t)} \\ &= (1-K) e^{[-2(1-K)\lambda t]} \end{aligned}$$

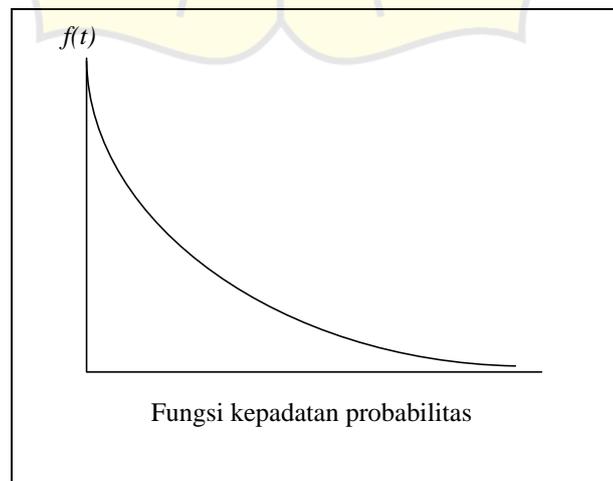
- c. Fungsi keandalan  $R(t)$

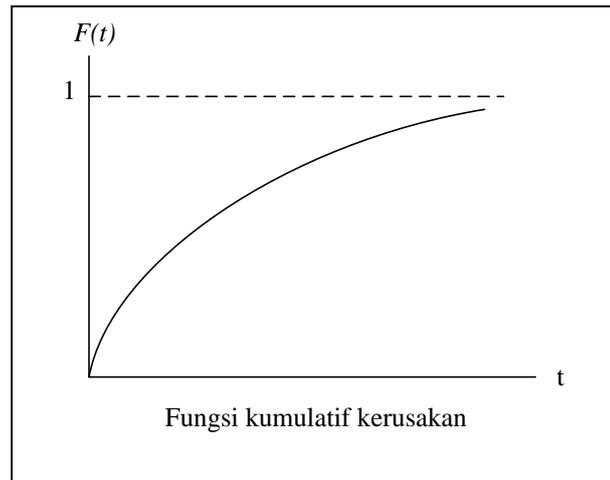
$$R(t) = K \cdot e^{(-2K\lambda t)} + (1-K) e^{[-2(1-K)\lambda t]}$$

- d. Fungsi laju kerusakan  $r(t)$

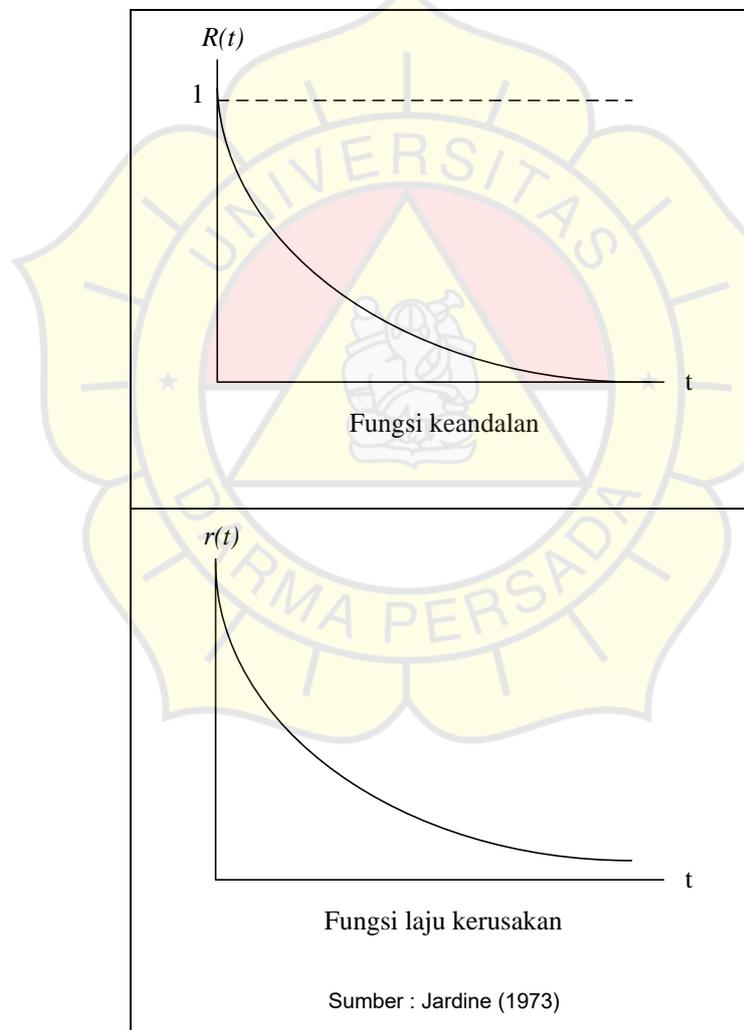
$$r(t) = \frac{2\lambda [K^2 + (1-K)^2] e^{[-2\lambda t(1-2K)]}}{K + (1-K) e^{[-2\lambda t(1-2K)]}}$$

Pola grafik dari masing-masing fungsi pada distribusi hiperekspensial mendekati pola berikut ini :





Gambar 2. 7 Fungsi Kepadatan probabilitas dan Fungsi kumulatif kerusakan



Gambar 2. 8 Pola grafik fungsi distribusi hiper eksponensial

## 2. Distribusi Eksponensial

Distribusi ini mengilustrasikan kerusakan pada sebuah mesin yang dihasilkan oleh kegagalan pada salah satu komponen di dalamnya, yang menyebabkan mesin berhenti berfungsi. Dalam situasi ini, kerusakan tidak bergantung pada faktor penggunaan peralatan. Fungsi-fungsi yang terkait dengan distribusi ini meliputi :

- a. Fungsi kepadatan probabilitas  $f(t)$

$$f(t) = \lambda \cdot e^{-(\lambda \cdot t)}$$

Untuk  $t > 0$

Dimana :  $\lambda$  = Rata-rata nilai kedatangan kerusakan

- b. Fungsi kumulatif kerusakan  $F(t)$

$$F(t) = 1 - e^{-(\lambda \cdot t)}$$

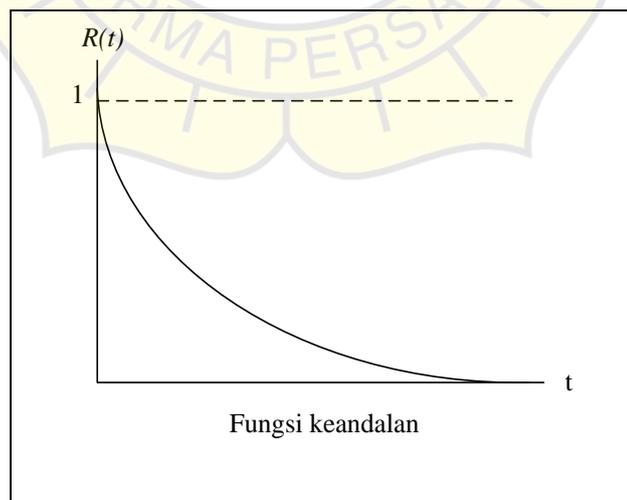
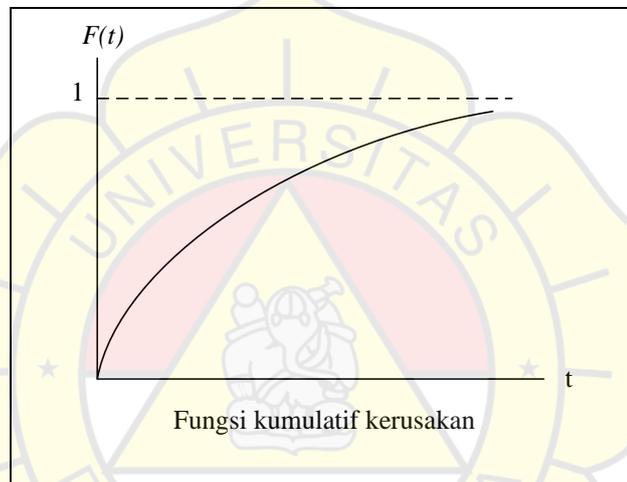
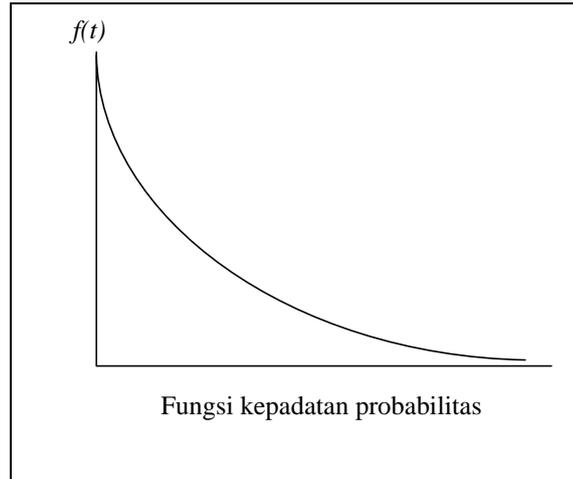
- c. Fungsi keandalan  $R(t)$

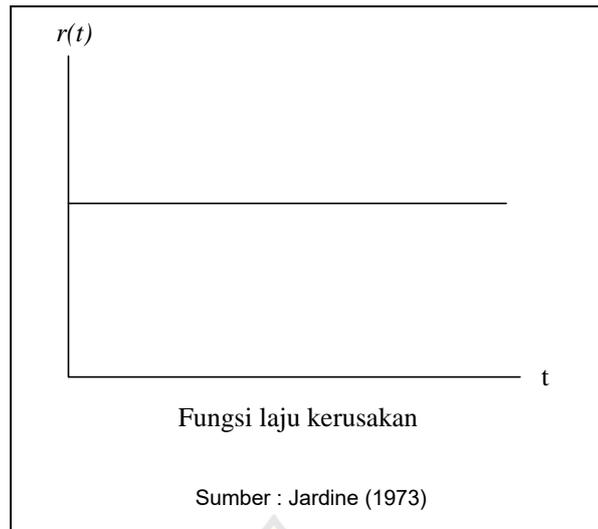
$$R(t) = e^{-(\lambda \cdot t)}$$

- d. Fungsi laju kerusakan  $r(t)$

$$r(t) = \lambda$$

Pola grafik dari masing-masing fungsi pada distribusi eksponensial mendekati pola berikut ini :





Gambar 2. 9 Pola grafik fungsi distribusi eksponensial

### 3. Distribusi Normal

Berlaku ketika pengaruh dari suatu peristiwa acak berasal dari banyak variasi acak yang bersifat independen dan memiliki dampak kecil.

Fungsi-fungsi yang terkait dengan distribusi ini meliputi :

#### a. Fungsi kepadatan probabilitas $f(t)$

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

Dengan ketentuan :  $-\infty < t < \infty$

Dimana :  $\mu$  = Rata-rata dari distribusi

$\sigma$  = Standar deviasi distribusi

#### b. Fungsi kumulatif kerusakan $F(t)$

$$F(t) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^t e^{\left\{ \frac{-(t-\mu)^2}{2\sigma^2} \right\}}$$

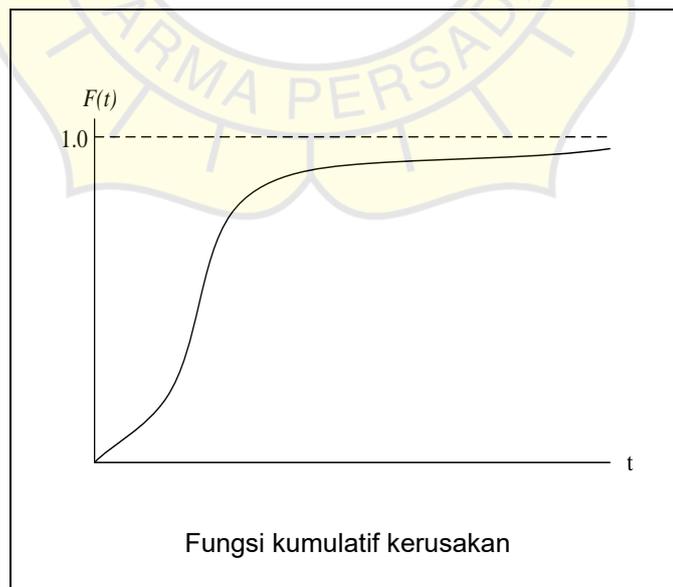
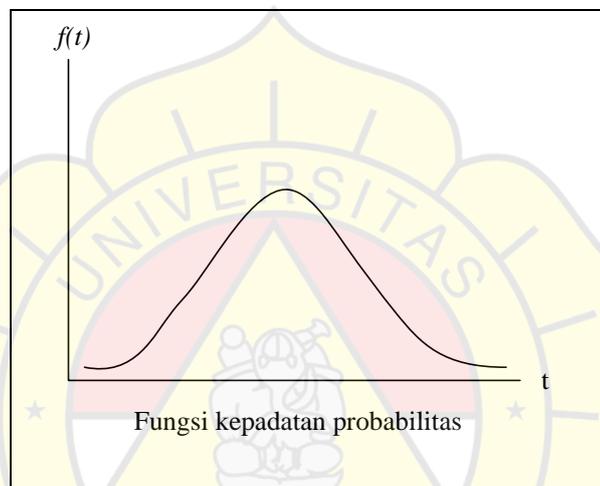
#### c. Fungsi keandalan $R(t)$

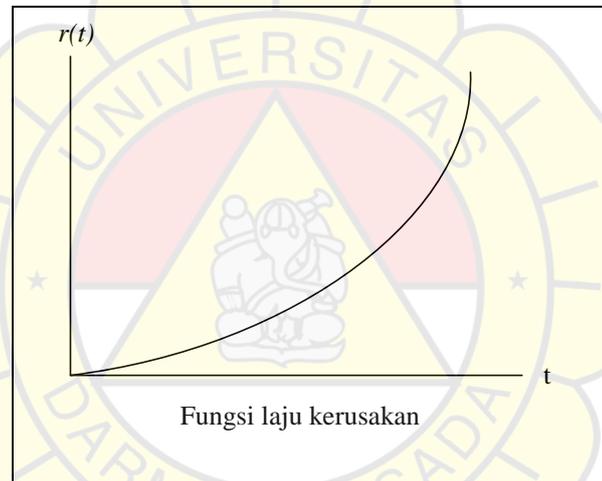
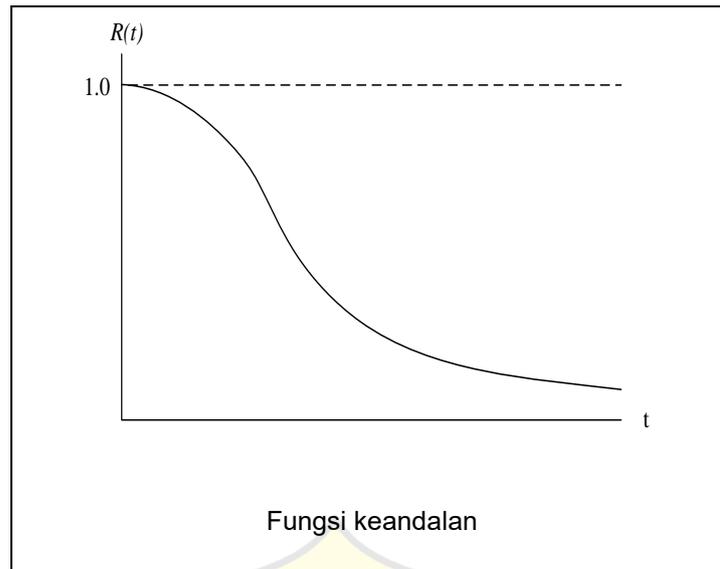
$$R(t) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \int_t^{\infty} e^{\left\{ \frac{-(t-\mu)^2}{2\sigma^2} \right\}} dt$$

d. Fungsi laju kerusakan  $r(t)$

$$r(t) = \frac{e^{\left\{ \frac{-(t-\mu)^2}{2\sigma^2} \right\}}}{\int_t^{\infty} e^{\left\{ \frac{-(t-\mu)^2}{2\sigma^2} \right\}} dt}$$

Pola grafik dari masing-masing fungsi pada distribusi normal mendekati pola berikut ini :





Gambar 2. 10 Pola grafik fungsi distribusi normal

Sumber : Jardine (1973)

### Pengujian Identik

Tujuan dari pengujian identik adalah untuk mengonfirmasi bahwa data interval antara kegagalan memiliki karakteristik yang serupa. Karakteristik ini menunjukkan bahwa satu set data mirip dengan yang lainnya dalam sifatnya. Salah satu metode umum yang digunakan untuk pengujian ini adalah Analisis Ragam (ANOVA). Langkah-langkah dalam pengujian identik dengan menggunakan ANOVA terdiri dari :

- a. Menentukan Hipotesis

$H_0$  : Data 1 = Data 2 = Data 3 = .....= Data n

$H_1$  : Minimal satu Data i terdapat tanda tidak sama dengan.

- b. Menentukan nilai dari  $\alpha$

- c. Menghitung nilai *treatment* (T) dengan menggunakan rumus :

$$T = \sum_j \sum_i x_{ij}$$

- d. Menghitung nilai *Sum of Square Total* ( $SS_T$ ) dan nilai derajat kebebasan total ( $V_T$ ) dengan menggunakan rumus :

$$SS_T = \sum_j \sum_i x_{ij}^2 - \frac{T^2}{nk}$$

n = Jumlah Baris

k = Jumlah Kolom

$$V_T = nk-1$$

- e. Menghitung nilai *Sum of Square treatment* ( $SS_{Tr}$ ) dan derajat kebebasannya ( $V_{Tr}$ ) dengan menggunakan rumus :

$$SS_{Tr} = \frac{\sum_j x_j^2}{n} - \frac{T^2}{nk}$$

$$V_{Tr} = k-1$$

- f. Menghitung nilai error ( $SS_E$ ) dan derajat kebebasannya ( $V_E$ ) dengan menggunakan rumus :

$$SS_E = SS_T - SS_{Tr}$$

$$V_E = k(n-1)$$

- g. Membandingkan nilai  $F_{value}$  dengan  $F_{tabel}$

$$F_{value} = \frac{MS_{Tr}}{MS_E}$$

Untuk nilai  $F_{tabel}$  dilihat pada tabel

h. Kesimpulan dari

$F_{\text{value}} \leq F_{\text{tabel}}$  Maka  $H_0$  diterima

$F_{\text{value}} > F_{\text{tabel}}$  Maka  $H_0$  ditolak dan  $H_1$  diterima

### Pengujian Weibull 2 Parameter

Pemeriksaan distribusi Weibull dua parameter digunakan untuk mengevaluasi apakah data yang tersedia sesuai dengan pola distribusi Weibull atau tidak. Salah satu teknik pengujian yang digunakan untuk ini adalah melalui pendekatan uji Mann (Ebeling, 1997). Di bawah ini adalah tahapan dalam melaksanakan uji Mann untuk pengujian distribusi Weibull dua parameter :

a. Perumusan hipotesis:

Hipotesis Nol ( $H_0$ ): Data kerusakan mengikuti distribusi Weibull 2 parameter.

Hipotesis Alternatif ( $H_1$ ): Data kerusakan tidak mengikuti distribusi Weibull 2 parameter.

a. Perhitungan interval waktu antara kerusakan ( $t_i$ )

b. Penetapan nilai  $\alpha$  (tingkat kesalahan),  $n$  (jumlah observasi data), dan  $r$  (jumlah data yang tidak censored).

c. Perhitungan  $k_1$  dan  $k_2$  dengan memanfaatkan formula :

$$k_1 = \frac{r}{2}$$

$$k_2 = \frac{r-1}{2}$$

d. Menghitung nilai  $Z_i$  masing-masing dengan menggunakan rumus:

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

e. Menghitung nilai *Mann* ( $M_i$ ) masing-masing dengan menggunakan rumus:

$$M_i = Z_{i+1} - Z_i$$

- f. Menghitung nilai *Mann* (M) dengan menggunakan rumus :

$$M = \frac{k_1 \sum_{i=k_1+1}^{r-1} \frac{(\ln_{ii+1} - \ln_{ii})}{M_i}}{k_2 \sum_{i=1}^{k_1} \frac{(\ln_{ii+1} - \ln_{ii})}{M_i}}$$

- g. Membandingkan nilai M dengan nilai F tabel yang disesuaikan dengan derajat kebebasan. apabila nilai  $M < F_{\alpha;v_1;v_2}$  maka  $H_0$  diterima.

### Estimasi Parameter Weibull 2 Parameter

Setelah data kerusakan teridentifikasi mengikuti distribusi weibull 2 parameter, langkah selanjutnya melibatkan estimasi parameter. Estimasi nilai  $\theta$  (parameter skala) dan  $\beta$  (parameter bentuk) perlu dicari. Pendekatan yang diterapkan untuk perhitungan estimasi parameter melibatkan metode regresi linier. Anggaphlah  $t_1, t_2, \dots, t_n$  mewakili sejumlah data mengenai interval waktu antara kerusakan pada sistem yang telah diurutkan sesuai urutan kronologis. Untuk setiap nilai  $t_i$  (dengan  $i=1,2,3,\dots,n$ ), hubungannya dapat dinyatakan sebagai berikut:

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

$$x_i = \ln(t_i)$$

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

Tahapan berikutnya melibatkan perhitungan nilai *intercept* (a) dan *slope* (b), kemudian menghitung nilai  $\theta$  dan nilai  $\beta$  dengan menggunakan metode atau cara sebagai berikut :

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

$$a = \frac{\sum y_i}{n} - \frac{b \sum x_i}{n}$$

$$\beta = b$$

$$\theta = \exp^{-a/\beta}$$

### Perhitungan Mean Time To Failure (MTTF) Untuk Distribusi Weibull 2 Parameter

Setelah parameter dari distribusi weibull 2 parameter teridentifikasi, langkah berikutnya adalah menghitung nilai MTTF. MTTF mengindikasikan interval waktu antara awal penggunaan part/komponen hingga munculnya kerusakan. Oleh karena itu, MTTF digunakan sebagai perkiraan umur operasional part/komponen. Proses perhitungan MTTF dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

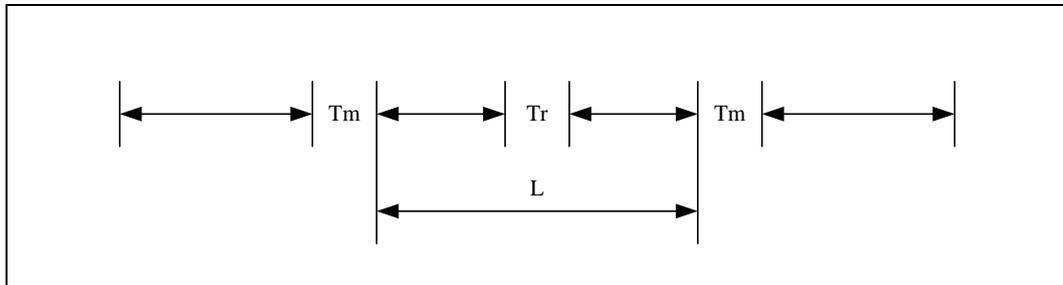
$$MTTF = \theta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$$

### Model Perawatan

#### Model Perawatan Pencegahan Probabilistik

Model menggambarkan suatu representasi dari realitas yang diharapkan mampu menjelaskan berbagai aspek perilaku dari situasi yang sesungguhnya. Karena pendekatan perawatan yang diterapkan adalah tindakan pencegahan perawatan, maka muncul tantangan dalam bentuk masalah yang diinterpretasikan sebagai model yang dikembangkan untuk mengatasi situasi yang timbul dalam implementasi tindakan perawatan pencegahan. Dalam hal ini, keputusan yang

diambil memiliki risiko karena hasil yang dicapai bersifat probabilistik (berkaitan dengan kemungkinan).



Gambar 2. 11 Model perawatan perencanaan dan perbaikan kerusakan.

$L$  = Periode perawatan perencanaan

$T_m$  = Waktu rata-rata perawatan perencanaan

$T_r$  = waktu yang diperoleh dari perbaikan kerusakan.

Ilustrasi di atas menggambarkan konsep perawatan pencegahan, di mana dalam skenario ini, seorang operator perawatan dengan keahliannya berupaya melakukan tindakan pencegahan dengan waktu rata-rata yang disimbolkan sebagai  $T_m$ . Di samping itu, terdapat jangka waktu tertentu di antara dua kegiatan perawatan pencegahan di mana kerusakan yang serius bisa terjadi. Mekanik akan memperbaiki kerusakan ini dalam waktu perbaikan yang ditunjukkan sebagai  $T_r$ , tanpa ada penyesuaian sebelumnya.

Oleh karena itu, selama periode perawatan ini, terdapat dua kategori periode dimana mesin mengalami berhenti produksi, yakni ketika dihentikan untuk perawatan pencegahan (preventive maintenance) dan ketika dihentikan untuk perbaikan kerusakan (corrective maintenance).

### Model Penggantian Pencegahan

Saat ini, tindakan penggantian hanya dilakukan ketika terjadi kerusakan yang mengakibatkan berhenti mesin. Namun, ditemukan bahwa pendekatan penggantian berdasarkan interval waktu ini tidak berhasil mengurangi frekuensi

kerusakan pada komponen mesin yang memerlukan penggantian. Dalam konteks ini, untuk mengatasi masalah tersebut, akan diambil keputusan mengenai strategi penggantian dengan menemukan interval waktu baru yang diharapkan akan menghasilkan keluaran produk atau layanan yang optimal sesuai permintaan.

Permasalahan yang telah dijelaskan dapat diselesaikan menggunakan pendekatan kuantitatif melalui penerapan model. Dalam konteks ini, terdapat dua konsep dalam pengembangan model matematika yang relevan dengan strategi penggantian, yakni model penggantian berdasarkan umur (age replacement) dan model penggantian berdasarkan blok interval waktu (block replacement).

### **Model Age Replacement**

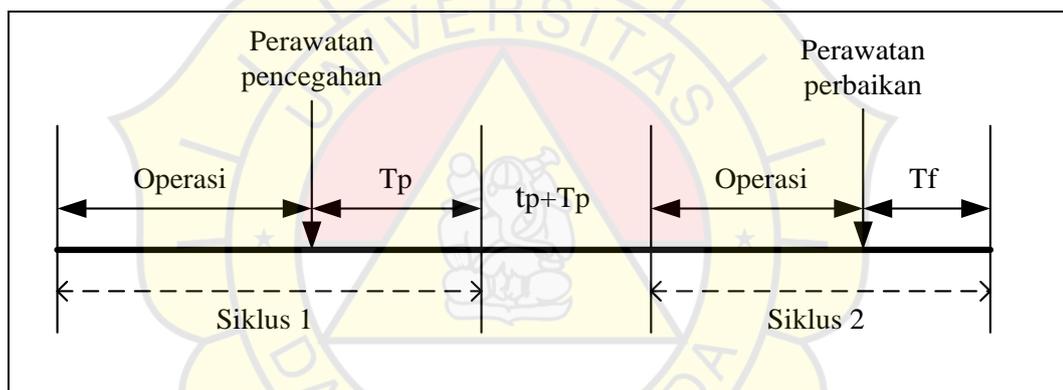
Model age replacement merupakan pendekatan dimana penggantian komponen dilakukan berdasarkan interval waktu, dengan mempertimbangkan usia atau masa pakai komponen tersebut. Dengan pendekatan ini, upaya dilakukan untuk menghindari situasi di mana peralatan yang baru dipasang harus diganti dalam waktu singkat akibat kerusakan. Model ini memiliki kemampuan untuk menyesuaikan jadwal penggantian setelah komponen diganti, baik itu karena adanya kerusakan atau sebagai langkah pencegahan.

Model ini sangat sesuai digunakan pada komponen yang interval pengantiannya tidak berdampak signifikan pada umur komponen lain atau komponen yang pengantiannya dapat dilakukan secara bersamaan. Dalam konteks ini, model age replacement berlaku jika hanya ada satu komponen yang mengalami kerusakan dalam satu set mesin, sehingga hanya komponen yang rusak yang akan diganti. Prinsip inti dari model age replacement adalah bahwa penggantian dilakukan berdasarkan usia komponen, dan tindakan penggantian pencegahan akan direncanakan ulang berdasarkan interval waktu yang telah ditetapkan sebelumnya.

Model penggantian umur memiliki dua fase pencegahan yang berbeda, yakni:

- Fase pertama, atau fase pencegahan yang berakhir dengan penggantian, dijadwalkan berdasarkan komponen yang telah mencapai usia penggantian sesuai rencana.
- Fase kedua, atau fase kerusakan yang berakhir dengan perbaikan, dijadwalkan berdasarkan komponen yang mengalami kerusakan sebelum mencapai waktu penggantian yang telah ditentukan sebelumnya.

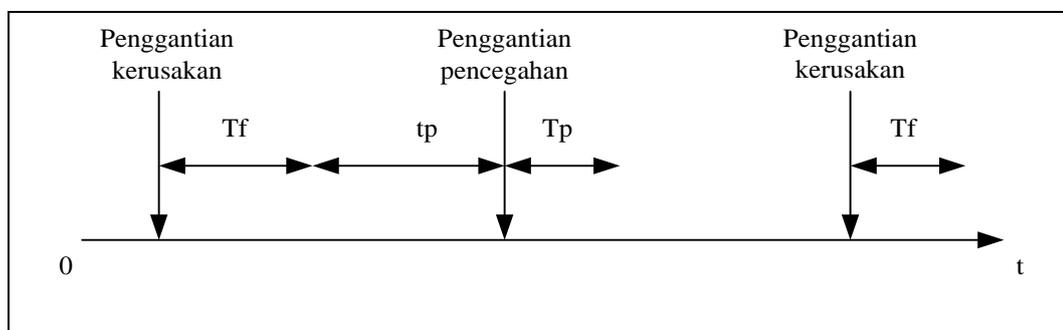
Kedua siklus dari model age replacement tersebut dapat terlihat jelas pada gambar berikut ini :



Gambar 2. 12 Model age replacement

Sumber : Jardine (1973)

Sedangkan kebijaksanaan perawatannya mengikuti kebijaksanaan yang digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2. 13 Kebijakan perawatan penggantian pencegahan

Sumber : Jardine (1973)

$t_p$  merupakan periode penggantian pencegahan dalam setiap satuan waktu.

$T_f$  adalah durasi yang diperlukan untuk melakukan penggantian akibat kerusakan

$T_p$  ialah waktu ketika proses berhenti karena aktivitas penggantian.

$F(t)$  mencerminkan distribusi interval waktu kerusakan

$R_{(tp)}$  mengacu pada probabilitas terjadinya siklus 1 pada saat  $tp$

$M_{(tp)}$  adalah rata-rata waktu munculnya kerusakan jika penggantian dilakukan pada saat  $tp$

Pembentukan model ongkos penggantian pencegahan :

$$C_{(tp)} = \frac{\text{ekspektasi ongkos perawatan penggantian per siklus}}{\text{ekspektasi panjang siklus}}$$

- Biaya rata-rata perawatan penggantian dalam setiap siklus dapat dihitung dengan cara berikut:

Jumlah biaya rata-rata selama siklus pencegahan dikalikan dengan probabilitas terjadinya siklus pencegahan, ditambah dengan jumlah biaya rata-rata selama siklus kerusakan dikalikan dengan probabilitas terjadinya siklus kerusakan}

$$= \{C_p \cdot R_{(tp)}\} + \{C_f \cdot \{1 - R_{(tp)}\}\}$$

- Panjang siklus rata-rata dapat dihitung dengan cara berikut:

Hasil perkalian antara panjang siklus rata-rata selama fase pencegahan dengan probabilitas terjadinya siklus pencegahan, ditambah dengan hasil perkalian antara panjang siklus rata-rata selama fase kerusakan dengan probabilitas terjadinya siklus kerusakan

$$= [(t_p + T_p) \cdot R_{(t_p)}] + \int_0^{t_p} t \cdot f(t) dt + [T_f \cdot (1 - R_{(t_p)})]$$

Maka, model untuk menentukan interval penggantian pencegahan dengan tujuan mengurangi biaya dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$C_{(t_p)} = \frac{(C_p \cdot R_{(t_p)}) + [C_f (1 - R_{(t_p)})]}{[(t + T_p) R_{(t_p)}] + \int_0^{t_p} t \cdot f(t) dt + [T_f (1 - R_{(t_p)})]}$$

Dari persamaan tersebut akan dicari harga  $t_p$  yang memberikan nilai  $C_{(t_p)}$  yang paling optimum

### **Model Block (Interval) Replacement.**

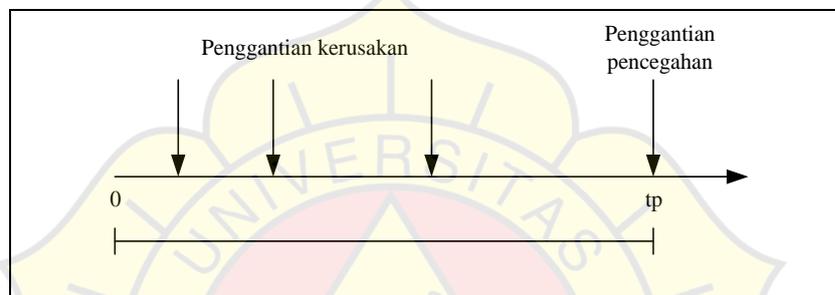
Model penggantian interval ini melibatkan pergantian komponen pada interval waktu yang tetap, tanpa mempertimbangkan usia atau masa pakai komponen tersebut. Dalam model ini, tindakan penggantian dilakukan pada interval yang konsisten, sehingga model ini diterapkan untuk menjaga konsistensi dalam pengaturan interval penggantian yang telah ditetapkan sebelumnya. Meskipun biaya yang terlibat mungkin lebih tinggi, model ini dapat cocok diterapkan dalam sistem dengan banyak komponen.

Model ini memiliki kapasitas untuk memastikan semua komponen dalam sistem diganti sebelum mencapai masa kritis potensial kerusakannya (MTTF). Keuntungan lainnya termasuk proses perencanaan yang lebih sederhana, karena waktu perawatan hanya ditetapkan sekali dan tetap. Langkah-langkah dalam prosedur model ini adalah sebagai berikut:

- Strategi model ini adalah Melakukan penggantian saat terjadi kerusakan dalam interval  $(0, t_p)$ , tanpa memperhatikan seberapa sering penggantian pencegahan dilakukan setiap periode waktu tetap  $t_p$ , dan ini dilakukan

secara konstan tanpa memperhitungkan usia komponen. Sehingga dalam model ini, ada kemungkinan bahwa komponen yang baru saja dipasang akan mengalami penggantian. Setelah penggantian akibat kerusakan, komponen tersebut harus segera diganti lagi saat waktu penggantian pencegahan yang telah ditetapkan tiba, yang berada dalam rentang waktu yang relatif dekat.

- Kebijakan penggantian pencegahan dengan model ini dapat dilihat pada gambar berikut ini :



Gambar 2. 14 Model block replacement

Sumber : Jardine (1973)

Dalam model interval replacement, penggantian komponen selalu terjadi pada interval waktu yang konstan ( $t_p$ ), tanpa mempertimbangkan masa pakai komponen tersebut. Dengan kata lain, frekuensi penggantian komponen akibat kerusakan selama interval ( $t_p$ ) diabaikan sepenuhnya. Yang menjadi fokus adalah penggantian pencegahan yang dilakukan pada setiap interval waktu ( $t_p$ ) yang telah ditentukan.

Dengan mempertimbangkan interval waktu penggantian pencegahan ( $t_p$ ), maka model biaya penggantian pencegahan dalam pendekatan interval replacement dapat dijelaskan seperti berikut :

$$C_{(t_p)} = \frac{\text{Ekspetasi Ongkos total penggantian pada interval } (0, t_p)}{\text{panjang interval}}$$

- Ekspetasi ongkos total  
= Biaya penggantian pada interval  $(0, t_p)$  + Ekspetasi ongkos perbaikan  
=  $C_p + C_f \cdot H(t_p)$

- Panjang interval =  $t_p$

Sehingga :

$$C_{(t_p)} = \frac{C_p + C_f \cdot H(t_p)}{t_p}$$

Dimana :

$$H_{(T)} = \sum_{i=0}^{T-1} (1 + H(T - i - 1)) \cdot \int_i^{i+1} f(t) dt ; T \geq 1$$

$t_p$  = Interval waktu penggantian

$T_p$  = Lama waktu penggantian

$H(t_p)$  = Banyaknya kerusakan

$C_p$  = Ongkos penggantian pencegahan

$C_f$  = Ongkos perbaikan kerusakan

Tujuan dari pengidentifikasian perawatan yang optimal berdasarkan model penggantian interval adalah menetapkan waktu inspeksi dan penggantian pencegahan sedemikian rupa sehingga total biaya per satuan waktu dapat diminimalkan.

### **Total Time On Test Plotting.**

Barlow dan Campo (1975) memperkenalkan TTT-plotting dan TTT-transform. Setelah itu, berbagai aplikasi TTT-plotting telah diperkenalkan. TTT-plotting memberikan representasi visual dari data kerusakan yang tidak

bergantung pada skala, dan semuanya terdapat dalam satu kotak dengan sudut di (0,0), (0,1), (1,0), (1,1).

Jika  $0 = t(1) \leq t(2) \leq \dots \leq t(n)$  merepresentasikan contoh yang lengkap dan berurutan dari fungsi distribusi  $F(t; z)$ , dan asumsikan  $S$  adalah total waktu yang dihasilkan oleh satu kerusakan pada waktu kurang dari atau sama dengan  $t$ . Dalam hal ini, nilai TTT pada waktu  $t_i$  apa pun didefinisikan sebagai berikut :

$$S(t_i; z_i) = \frac{1}{n} \int_0^{t_i} R(t; z) dt$$

Dimana  $S(t_0; z_0) = 0$ . TTT Transform yang telah diskalakan di definisikan sebagai:

$$\varphi(u_i) = \frac{S(t_i; z_i)}{S(t_n; z_n)}, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

### Perhitungan Selang Waktu Perawatan Total Time on Test (TTT) Plotting

Dalam menghitung interval waktu perawatan, data yang diambil sebagai dasar adalah data kerusakan yang terjadi pada masa sebelumnya. Perhitungan interval waktu perawatan dilakukan dengan metode TTT-plotting, yang melibatkan perhitungan distribusi nilai fungsi  $F(t)$  dan diskalakan TTT ( $\varphi$ ). Langkah-langkah yang terlibat dalam proses TTT-plotting adalah sebagai berikut:

1. Fungsi *reliability* diestimasi menggunakan *product limit* (kaplan meier, 1958) dengan rumus :

$$R(t) = \prod_j \frac{n-j}{n-j+1}$$

2. Menghitung fungsi distribusi dengan menggunakan rumus :

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

3. Menghitung nilai TTT dengan rumus :

$$S(t_i) = n \sum_{j=1}^i (t_j - t_{j-1}) R(t_{j-1}), \text{ untuk } i= 1,2,\dots,n$$

4. Menghitung TTT transform dengan rumus :

$$\varphi(u_i) = \frac{S(t_i)}{S(t_n)}$$

5. Setelah mendapatkan nilai distribusi fungsi  $F(t)$  dan TTT yang sudah diskalakan ( $\varphi$ ), langkah berikutnya adalah merencanakan plot kedua nilai tersebut untuk menemukan interval waktu perawatan yang memberikan hasil optimal.
6. Mengacu pada grafik yang dihasilkan, sebuah garis ditarik dari titik  $(-c/a, 0)$  dengan kemiringan maksimal yang memungkinkan untuk bersinggungan dengan plot TTT pada suatu titik khusus. Titik tersebut menjadi penunjuk interval waktu perawatan yang optimal, ditandai dengan nilai  $t_i$  yang sesuai.

### Perhitungan biaya perawatan

Berdasarkan hasil perhitungan dengan metode TTT terlihat bahwa interval perawatan membantu mengurangi biaya perawatan. Perkiraan biaya pemeliharaan yang dihasilkan selama periode ini dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$C(t) = \frac{c + C_p + a F(t)}{\sum_{i=1}^n (t_j - t_{j-1}) R(t_{j-1})}$$

Nilai  $c$  mencerminkan estimasi biaya perawatan yang telah diantisipasi (planned maintenance cost). Dalam kategori biaya perawatan yang telah diantisipasi ini,

termasuk pengeluaran rutin pabrik untuk merawat mesin, seperti proses pembersihan mesin dan pemberian bahan bakar seperti minyak dan grease. Sementara itu, nilai *a* mewakili biaya perawatan yang tak terduga (unplanned maintenance cost), seperti biaya yang timbul akibat penggantian komponen atau bagian yang mengalami kerusakan.

Dalam melakukan pemilihan model perlu diperhatikan beberapa alasan yang dapat mempengaruhi pemilihan, diantaranya :

- Pertimbangan sifat *non-repairable* dari komponen dimana pada komponen tidak dapat dilakukan tindakan penggantian perbagian yang rusak saja melainkan dilakukan penggantian keseluruhan.
- Pertimbangan harga komponen penggantian part harus diperhitungkan sebagai harga karena akan mempengaruhi biaya usaha sehingga menyebabkan peningkatan biaya produksi.
- Pertimbangkan faktor ketersediaan. Hal ini tidak dapat dicapai dengan model penggantian massal (*interval replacement*) , karena pada model ini terdapat potensi biaya total yang tinggi akibatnya seringkali penggantian suku cadang, kerusakan atau tidak dapat digantinya suku cadang, meskipun suku cadang baru saja diganti. Sedangkan pada model *age – replacement*, jika terjadi kerusakan maka akan ditentukan Kembali waktu penggantian komponen berikutnya.
- 

## 2.8 Pengertian RCM ( Reliability Centered Maintenance )

*Reliability Centered Maintenance* ( RCM ) adalah proses yang digunakan untuk menentukan metode perawatan yang paling efektif. RCM menggunakan identifikasi tindakan yang, jika dilakukan, akan mengurangi kemungkinan

kegagalan dan memberikan pengembalian tertinggi. Strategi perawatan ini tidak diterapkan secara terpisah tetapi terintegrasi untuk memanfaatkan kekuatan masing-masing untuk mengoptimalkan kinerja dan kemampuan pabrik dan peralatan sekaligus mengurangi biaya siklus hidup.

Dari beberapa definisi menurut para ahli, *Reliability Centered Maintenance (RCM)* adalah proses yang digunakan untuk menentukan apa yang perlu dilakukan untuk memastikan bahwa semua aset fisik terus melakukan apa yang diinginkan pengguna dalam kondisi operasi mereka saat ini. RCM didasarkan pada pemahaman bahwa setiap aset digunakan untuk melakukan satu atau lebih fungsi tertentu dan bahwa pemeliharaan berarti melakukan apapun yang diperlukan untuk memastikan bahwa aset tersebut terus berfungsi sesuai dengan kepuasan pengguna 'pelanggan'.

*Reliability Centered Maintenance (RCM)* memiliki kelebihan dan kekurangan yaitu :

Kelebihannya :

1. Meningkatkan keandalan peralatan dan sistem.
2. Meningkatkan efisiensi dan produktivitas operasional.
3. Mengoptimalkan penggunaan sumber daya dan mengurangi pemborosan,
4. Mengurangi resiko dan kegagalan sistem.

Kekurangannya :

1. Perusahaan sering mengalami kerugian karena biaya perawatan yang dikeluarkan cukup tinggi.

2. Memerlukan sumber daya yang cukup untuk mengumpulkan dan menganalisis data yang diperlukan.

## 2.9 Prinsip – Prinsip RCM ( *Reliability Centered Maintenance* )

*Reliability Centered Maintenance* ( RCM ) memiliki prinsip, yaitu :

1. **Memahami Fungsi Sistem**, menentukan fungsi utama dari sistem dan bagaimana sistem tersebut dapat mencapai tujuan.
2. **Menentukan Mode Kegagalan**, mengidentifikasi semua kemungkinan mode kegagalan dari sistem.
3. **Menganalisis Dampak Kegagalan**, mengevaluasi konsekuensi dari setiap mode kegagalan dan menentukan tingkat keparahan dampaknya.
4. **Menentukan Strategi Pemeliharaan**, memilih strategi pemeliharaan yang paling efektif untuk mencegah atau mengurangi dampak kegagalan.
5. **Menerapkan Tindakan Perbaikan**, melaksanakan tindakan perbaikan berdasarkan strategi pemeliharaan yang dipilih dan memantau hasilnya.
6. **Memonitor dan mengevaluasi performa**, memonitor dan mengevaluasi performa sistem setelah Tindakan perbaikan dilakukan.

## 2.10 Metode RCM ( *Reliability Centered Maintenance* )

Sebelum menjalankan *Reliability Centered Maintenance* ( RCM ) perusahaan atau SDM harus mengenal dengan baik istilah berikut :

1. Apa yang seharusnya dilakukan item dan standar kinerja terkait?
2. Apa saja peristiwa yang menyebabkan setiap kegagalan?
3. Apa saja peristiwa yang menyebabkan setiap kegagalan?
4. Apa yang terjadi ketika setiap kegagalan terjadi?

5. Dengan cara apa setiap kegagalan penting?
6. Tugas sistematis apa yang dapat dilakukan secara proaktif untuk mencegah, atau mengurangi ke tingkat yang memuaskan, konsekuensi dari kegagalan?
7. Apa yang harus dilakukan jika tugas pencegahan yang sesuai tidak dapat ditemukan?

Setelah mengetahui istilah diatas, berikut langkah-langkah yang diperlukan untuk menjalankan *Reliability Centered Maintenance* (RCM) adalah:

1. **Pemilihan sistem dan pengumpulan informasi.**

Dalam pemilihan sistem, Sistem yang dipertahankan adalah sistem yang memiliki frekuensi pemeliharaan korektif yang tinggi, mahal, dan berdampak besar pada berfungsinya proses di lingkungannya.

2. **Definisi batasan sistem.**

Pembatasan sistem diterapkan untuk memahami elemen-elemen yang masuk dan tidak masuk dalam lingkup sistem yang sedang diobservasi.

3. **Deskripsi sistem dan *Functional Diagram Block* (FDB).**

Setelah pemilihan sistem dan pengaturan batasnya diselesaikan, langkah berikutnya adalah melakukan deskripsi sistem. Hal ini dilakukan dengan tujuan mengenali dan mendokumentasikan aspek-aspek krusial dari sistem tersebut.

#### 4. Penentuan fungsi dan kegagalan fungsional.

Fungsi dalam konteks ini dapat dijelaskan sebagai tindakan yang diharapkan oleh pengguna dari suatu perangkat. Fungsi ini terkait dengan masalah seperti kecepatan, output, kapasitas, dan kualitas produk. Kegagalan, dalam hal ini, dapat dipahami sebagai ketidakmampuan perangkat untuk memenuhi harapan pengguna. Meskipun kegagalan dalam fungsi dapat diinterpretasikan sebagai ketidakmampuan perangkat untuk menjalankan fungsinya sesuai dengan standar kinerja yang dapat diterima oleh pengguna. Suatu fungsi mungkin mengalami satu atau lebih kegagalan fungsi.

#### 5. *Logic Tree Analysis* (LTA).

*Logic Tree Analysis* adalah ukuran kualitatif untuk mengklasifikasikan jenis kesalahan. Jenis – jenis kegagalan dapat digolongkan menjadi 4 jenis yaitu :

##### 1. Kategori A (*Safety Problem*)

Jenis kegagalan menimbulkan akibat yang dapat merugikan atau mengancam nyawa seseorang.

##### 2. Kategori B (*Outage Problem*)

Jenis kegagalan membuat matinya system

##### 3. Kategori C (*Minor to Infestigation Economic Problem*)

Jenis kegagalan tidak mempengaruhi keselamatan atau mematikan sistem. Dampaknya relatif kecil dan dapat diabaikan.

#### 4. Kategori D (*Hidden Failure*)

Jenis kegagalan yang terjadi tidak dapat diketahui oleh operator.

#### 6. **Task selection (Pemilihan kebijakan perawatan).**

*Task Selection* dilakukan untuk menentukan kebijakan yang akan berlaku (efektif) dan memilih tugas yang paling efektif untuk setiap jenis kegagalan.

- Efektif artinya kebijakan pemeliharaan yang diterapkan dapat mencegah, mendeteksi atau mengungkap kesalahan yang tersembunyi
- Efisiensi berarti kebijakan pemeliharaan yang ekonomis ketika mempertimbangkan total biaya pemeliharaan.

