

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Definisi Perawatan

Perawatan (*maintenance*) adalah segala tindakan yang dibutuhkan dalam menjaga kondisi suatu unit mesin atau alat di dalamnya atau suatu kegiatan memperbaiki sampai pada kondisi tertentu yang bisa diterima. Perawatan (*maintenance*) merupakan suatu kombinasi dari setiap tindakan yang dilakukan untuk menjaga suatu mesin atau untuk memperbaikinya sampai suatu kondisi yang bisa diterima (Corder, 1976).

2.2 Tujuan Perawatan

Tujuan dilakukan perawatan adalah antara lain (Corder, 1976)

1. Memperpanjang kegunaan aset (yaitu setiap bagian dari suatu tempat kerja, bangunan dan isinya).
2. Menjamin ketersediaan optimum peralatan yang dipasang untuk produksi atau jasa untuk mendapatkan laba investasi semaksimal mungkin.
3. Menjamin kesiapan operasional dari seluruh peralatan yang diperlukan dalam keadaan darurat setiap waktu.
4. Menjamin keselamatan orang yang menggunakan sarana tersebut.

2.3 Strategi Perawatan

Terdapat filosofi perawatan untuk fasilitas produksi pada dasarnya adalah menjaga level maksimum konsistensi optimasi produksi dan ketersediaan tanpa mengesampingkan keselamatan. Untuk mencapai filosofi tersebut digunakan strategi perawatan. Proses perawatan mesin yang dilakukan oleh suatu perusahaan umumnya terbagi dalam dua bagian, yaitu perawatan terencana dan tidak terencana (Duffua, dan Raouf, 2015). Staretgi dalam perawatan dapat diuraikan sebagai berikut:

1. **Pergantian (*replacement*)**

Merupakan penggantian peralatan/komponen untuk melakukan perawatan. Kebijakan penggantian ini dilakukan pada seluruh atau sebagian (*part*) dari sebuah sistem yang dirasa perlu dilakukan upaya penggantian oleh karena tingkat utilitas mesin atau keandalan fasilitas produksi berada pada kondisi yang kurang baik. Tujuan strategi perawatan penggantian antara lain adalah untuk menjamin berfungsinya suatu sistem sesuai pada keadaan normalnya.

1. **Perawatan Peluang (*Opportunity maintenance*) :**

Perawatan dilakukan ketika terdapat kesempatan, misalnya perawatan pada saat mesin sedang keadaan mati/tidak dipakai. Perawatan peluang dimaksudkan agar tidak terjadi waktu menganggur (*idle*) baik oleh operator maupun petugas perawatan, perawatan bisa dilakukan dengan skala yang paling sederhana seperti pembersihan (*cleaning*) maupun perbaikan fasilitas pada sistem produksi (*repairing*).

2. **Perbaikan (*Overhaul*) :**

Merupakan pengujian secara menyeluruh dan perbaikan (*restoration*) pada sedikit komponen atau sebagian besar komponen sampai pada kondisi yang dapat diterima. Perawatan perbaikan merupakan jenis perawatan yang terencana dan biasanya proses perawatannya dilakukan secara menyeluruh terhadap sistem, sehingga diharapkan sistem atau sebagian besar sub sistem berada pada kondisi yang handal.

3. **Perawatan Pencegahan (*Preventive maintenance*) :**

Merupakan perawatan yang dilakukan secara terencana untuk mencegah terjadinya potensi kerusakan. *Preventive maintenance* adalah kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan untuk mencegah timbulnya kerusakan yang tidak terduga dan menemukan kondisi atau keadaan yang menyebabkan fasilitas produksi menjadi kerusakan pada saat digunakan dalam memproduksi. Dalam prakteknya *preventive maintenance* yang dilakukan oleh perusahaan dibedakan atas :

Routine maintenance

Yaitu kegiatan pemeliharaan terhadap kondisi dasar mesin dan mengganti suku cadang yang aus atau rusak yang dilakukan secara rutin misalnya setiap hari. Contoh pembersihan peralatan, pelumasan atau pengecekan oli, pengecekan bahan bakar, pemanasan mesin-mesin sebelum dipakai memproduksi.

Periodic maintenance

Yaitu kegiatan pemeliharaan yang dilakukan secara *periodic* atau dalam jangka waktu tertentu misalnya satu minggu sekali, dengan cara melakukan inspeksi secara berkala dan berusaha memulihkan bagian mesin yang cacat atau tidak sempurna. Contoh : penyetelan katup-katup pemasukan dan pembuangan, pembongkaran mesin untuk penggantian *bearing*.

4. Running maintenance

Merupakan pekerjaan perawatan yang dilakukan pada saat fasilitas produksi dalam keadaan bekerja. Perawatani ini termasuk cara perawatan yang direncanakan untuk diterapkan pada peralatan atau pemesinan dalam keadaan operasi. Biasanya diterapkan pada mesin-mesin yang harus terus menerus beroperasi dalam melayani proses produksi. Kegiatan perawatan dilakukan dengan jalan mengawasi secara aktif (*monitoring*).

5. Shut down maintenance

Merupakan kegiatan perawatan yang hanya dapat dilaksanakan pada waktu fasilitas produksi sengaja dimatikan atau dihentikan.

6. Corrective maintenance

Merupakan kegiatan perawatan yang dilakukan untuk mengatasi kegagalan atau kerusakan yang ditemukan selama masa waktu *preventive maintenance*. Pada umumnya, *corrective maintenance* bukanlah aktivitas perawatan yang terjadwal, karena dilakukan setelah sebuah komponen mengalami kerusakan dan bertujuan untuk mengembalikan kehandalan sebuah komponen atau sistem ke kondisi semula.

7. Condition base maintenance

Merupakan aktivitas perawatan pencegahan yang dilakukan berdasarkan kondisi tertentu dari suatu komponen atau sistem, yang bertujuan untuk mengantisipasi sebuah komponen atau sistem agar tidak mengalami kerusakan. Karena variabel waktunya tidak pasti diketahui, kebijakan yang sesuai dengan kondisi tersebut adalah *predictive maintenance*. *Predictive maintenance* merupakan suatu kegiatan perawatan yang dilakukan dengan menggunakan sistem monitoring, misalnya analisis dan komposisi gas.

8. Failure finding

merupakan kegiatan perawatan pencegahan yang bertujuan untuk mendeteksi kegagalan yang tersembunyi, dilakukan dengan cara memeriksa fungsi tersembunyi (*hidden function*) secara periodik untuk memastikan kapan suatu komponen mengalami kegagalan.

2.4 *Reliability Engineering* (Rekayasa Keandalan)

Rekayasa keandalan merupakan kegiatan utama yang strategis berfokus pada masa yang akan datang. Namun terdapat kebutuhan akan bantuan teknis untuk menjalankan suatu operasi dan fungsi metode untuk meningkatkan pemeliharaan, identifikasi dan pembentukan rancangan, pengadaan, instalasi, operasi terbaik, praktik pemeliharaan dan perbaikan, serta mengembangkan metode untuk mengurangi kerugian dari kinerja yang kurang optimal (Mobley, Higgins, dan Wikkof., 2008).

Rekayasa keandalan merupakan salah satu elemen penting dalam kinerja pabrik yang optimal. Berikut adalah fungsi rekayasa keandalan :

1. Sebagai panduan dalam upaya untuk memastikan keandalan dan pemeliharaan peralatan, proses, utilitas, fasilitas, kontrol *loop*, dan sistem keselamatan atau keamanan.
2. Mengurangi dan memperbaiki kegiatan pemeliharaan jika memungkinkan; memastikan efisien dan produktif, pengoperasian proses fasilitas dan peralatan; sekaligus melindungi dan memperpanjang kehidupan ekonomi aset fasilitas; semuanya dengan biaya yang minimum
3. Melayani dalam kapasitas staf, fungsi ini membebaskan supervisor dan perencana atau penjadwal perawatan dari tanggung jawab yang bersifat rekayasa.

2.4.1 Teori Keandalan (*Reliability Theory*)

Keandalan didefinisikan sebagai probabilitas pada suatu barang, misalnya, produksi dan aset utilitas dan proses kerja, akan terus melakukan apa yang dibutuhkan pengguna tanpa kegagalan dalam kondisi yang telah ditentukan dalam periode waktu tertentu (Mobley, Higgins dan Wikkof., 2008)

Menurut Ebeling (1997) keandalan dapat didefinisikan sebagai probabilitas sistem akan memiliki kinerja sesuai fungsi yang dibutuhkan dalam periode waktu tertentu. Berdasarkan pengertian diatas, maka ada beberapa hal yang perlu diperhatikan, yaitu :

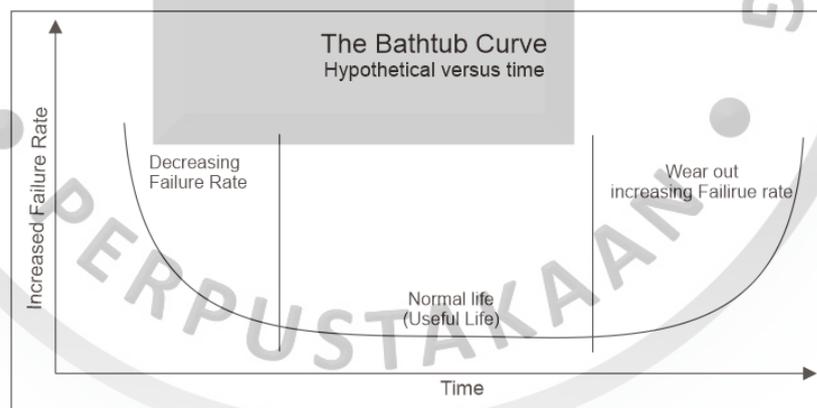
1. Probabilitas, dimana nilai *reliability* adalah berada diantara 0 dan 1.

2. Kemampuan yang diharapkan. Harus digambarkan secara terang atau jelas. Untuk setiap unit terdapat suatu standar untuk menentukan apa yang dimaksud dengan kemampuan yang diharapkan.
3. Tujuan yang diinginkan, dimana kegunaan peralatan harus spesifik. Hal ini dikarenakan terdapat beberapa tingkatan dalam memproduksi suatu barang konsumen.
4. waktu, merupakan parameter yang penting untuk melakukan penilaian kemungkinan suksennya suatu sistem.
5. Kondisi Lingkungan, mempengaruhi umur dari sistem atau peralatan seperti suhu, kelembaban dan kecepatan gerak. Hal ini menjelaskan bagaimana perlakuan yang diterima sistem dapat memberikan tingkat keandalan yang berbeda dalam kondisi operasionalnya.

2.4.2 *Bathtub Curve*

Kurva ini menggambarkan bentuk tertentu dari fungsi bahaya yang terdiri dari tiga bagian yaitu, penurunan laju kerusakan, laju kerusakan yang konstan dan kondisi laju kerusakan yang meningkat (Gulati, dan Smith, 2009).

Adapun *bathtub curve* dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2. 1 *Bathtub curve*
Sumber : Gulati dan Smith (2009)

1. Periode *decreasing failure rate* : bagian ini menggambarkan penurunan laju kerusakan seiring dengan penambahan waktu operasi, memiliki fungsi kepadatan probabilitas distribusi weibull
2. Periode *Normal Life (useful Life)* : bagian ini menggambarkan laju kerusakan yang konstan seiring dengan penambahan waktu operasi. Memiliki fungsi kepadatan probabilitas eksponensial.

3. Periode *wear-out* : bagian ini menggambarkan laju kerusakan yang meningkat seiring dengan penambahan waktu operasi.

2.5 Fungsi Keandalan dan Laju Kerusakan beberapa fungsi distribusi

Hubungan fungsi keandalan dengan fungsi laju kerusakan adalah unik, dimana setiap fungsi keandalan hanya mempunyai satu fungsi laju kerusakan, dan begitu pula sebaliknya. Dalam pembahasan masalah perawatan, terdapat beberapa fungsi distribusi kontinu yang digunakan untuk menganalisis kerusakan suatu mesin atau peralatan (Jardine dan Tsang, 2013).

2.5.1 Distribusi Kerusakan

Setiap mesin memiliki karakteristik kerusakan yang berbeda-beda. Sejumlah mesin yang sama jika dioperasikan dalam kondisi yang berbeda akan memiliki karakteristik kerusakan yang berbeda, bahkan mesin yang sama juga jika dioperasikan dalam kondisi yang sama akan memiliki karakteristik kerusakan yang berbeda. Distribusi kerusakan adalah informasi dasar mengenai umur pakai suatu peralatan dalam suatu populasi. Distribusi kerusakan suatu peralatan memiliki bentuk yang berbeda – beda, distribusi yang umum digunakan adalah distribusi Eksponensial, *Weibull*, Normal, dan Lognormal. Distribusi kerusakan ini dapat memenuhi berbagai fase kerusakan. Jika ukuran sampelnya tergolong kecil maka penaksiran parameter distribusi dilakukan dengan metode kuadrat terkecil (*Least – Squares Curve Fitting*). Distribusi Eksponensial biasanya digunakan jika laju kerusakan tidak berubah dan konstan terhadap waktu. Distribusi Normal biasanya cocok digunakan pada fenomena terjadinya *wearout region*. Distribusi *Weibull* dapat digunakan pada model yang mengalami laju kerusakan menaik maupun menurun. Sedangkan Distribusi Lognormal memiliki kemiripan dengan Distribusi *Weibull* sehingga jika pada suatu kasus memiliki Distribusi *Weibull* maka kasus tersebut juga cocok menggunakan Distribusi Lognormal. (Ebellling, 1997).

1. Distribusi Weibull

Salah satu distribusi probabilitas yang paling berguna dalam keandalan adalah Weibull. Distribusi kegagalan Weibull dapat digunakan untuk memodelkan peningkatan dan penurunan tingkat kegagalan (Ebellling, 1997).

$\lambda(t) = \alpha t^b$ yang merupakan fungsi utama, fungsi $\lambda(t)$ meningkatkan untuk $\alpha > 0$, $b > 0$ dan untuk menurunkan $\alpha > 0$, $b < 0$.

Untuk lebih dapat dipahami dapat menggunakan persamaan berikut :

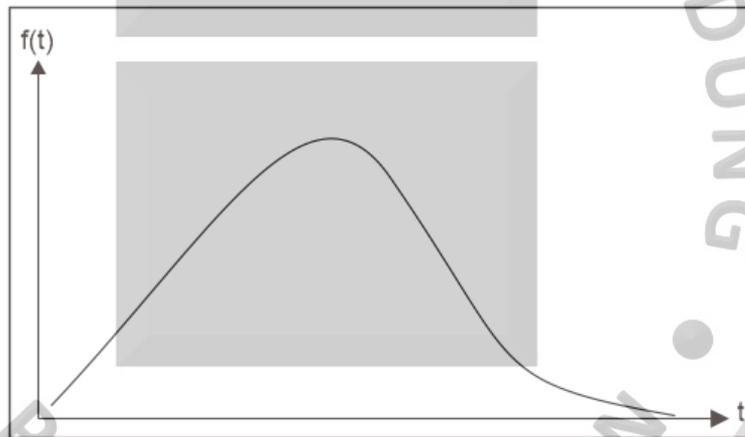
1. Fungsi kepadatan kemungkinan

$$f(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} \quad \theta > 0, \beta > 0, t \geq 0 \dots\dots\dots(\text{II.1})$$

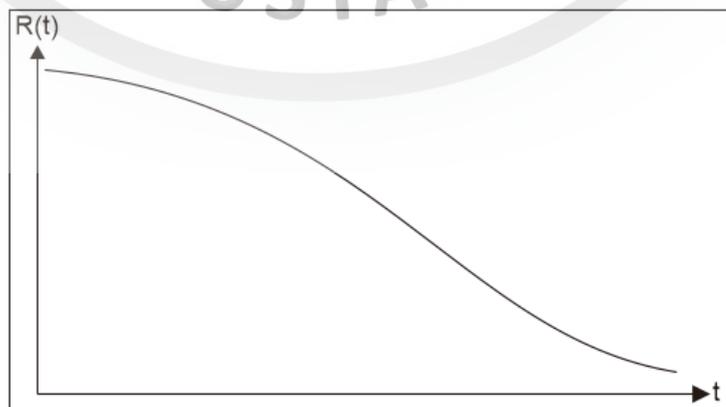
2. Fungsi keandalan

$$R(t) = e \left[-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta \right] \dots\dots\dots(\text{II.2})$$

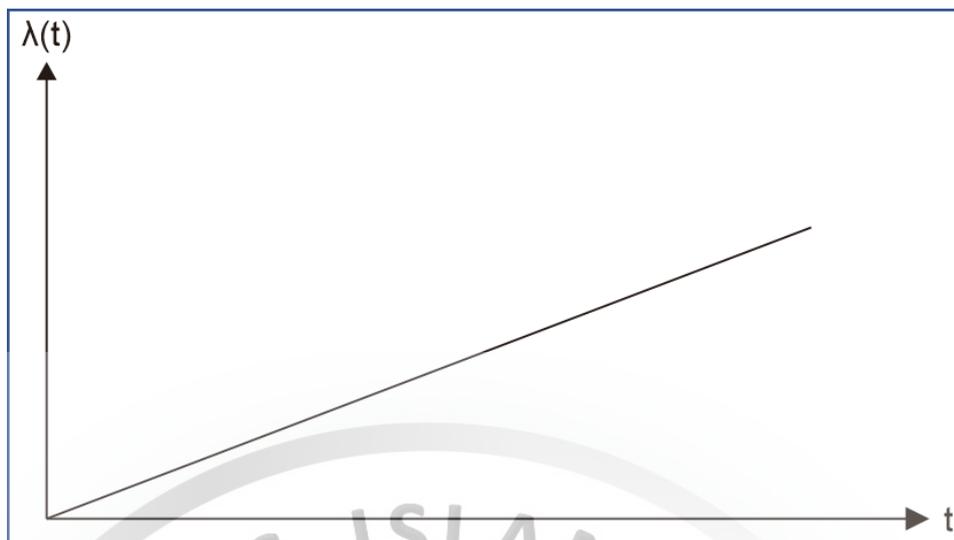
Beta (β) disebut sebagai parameter bentuk. Theta (θ) merupakan parameter skala yang mempengaruhi nilai tengah dan penyebaran, atau dispersi dari distribusi. Efek dari θ pada penyebaran fungsi kepadatan probabilitas dapat dilihat pada gambar 2.2 sampai dengan 2.4 untuk beberapa perbedaan nilai.



Gambar 2. 2 Weibull fungsi kepadatan
Sumber : Ebellling (1997)



Gambar 2. 3 Grafik Weibull fungsi keandalan
Sumber : Ebellling (1997)



Gambar 2. 4 Grafik Weibull tingkat laju kerusakan
 Sumber : Ebeling (1997)

2. Distribusi Normal

Distribusi normal cocok untuk digunakan dalam memodelkan fenomena keausan. Parameter yang digunakan adalah μ (nilai tengah) dan σ (standar deviasi). Karena hubungannya dengan distribusi Lognormal, distribusi ini dapat juga digunakan untuk menganalisis probabilitas Lognormal. Fungsi *reliability* yang terdapat dalam distribusi Normal (Ebeling, 1997) yaitu :

1. Fungsi kepadatan kemungkinan

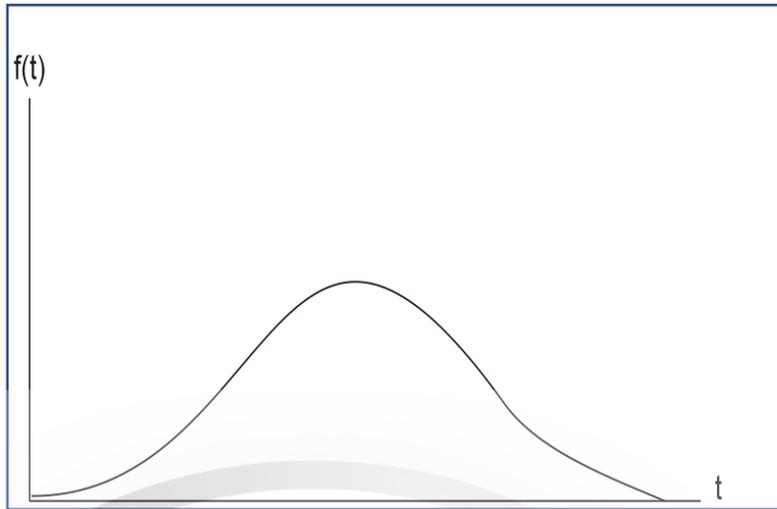
$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp \left[-\frac{1}{2} \frac{(t-\mu)^2}{\sigma^2} \right] \quad -\infty < t < \infty \dots\dots\dots (II.3)$$

2. Fungsi Keandalan

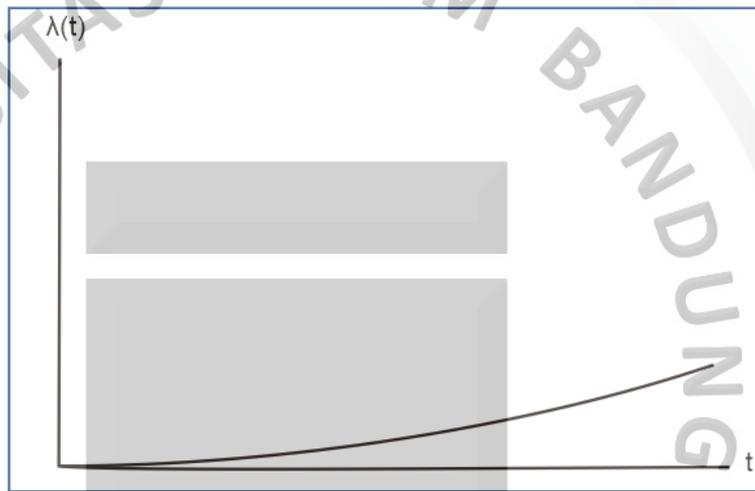
$$R(t) = 1 - \Phi \left(\frac{t-\mu}{\sigma} \right) \dots\dots\dots (II.4)$$

3. Laju kerusakan

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \dots\dots\dots (II.5)$$



Gambar 2. 5 Pengaruh standar deviasi σ di dalam fungsi kepadatan kemungkinan
 Sumber : Ebellling (1997)



Gambar 2. 6 Fungsi distribusi kumulatif
 Sumber : Ebellling (1997)

3. Distribusi Lognormal

Jika variabel acak T , waktu kegagalan, memiliki distribusi lognormal. Logaritma dari T merupakan distribusi normal. Hal ini sangat berguna dalam distribusi lognormal (Ebellling, 1997).

1. Fungsi kepadatan dari lognormal

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}st} \exp \left[-\frac{1}{2s^2} \left(\ln \frac{t}{t_{med}} \right)^2 \right] \quad t \geq 0 \dots\dots\dots (II.6)$$

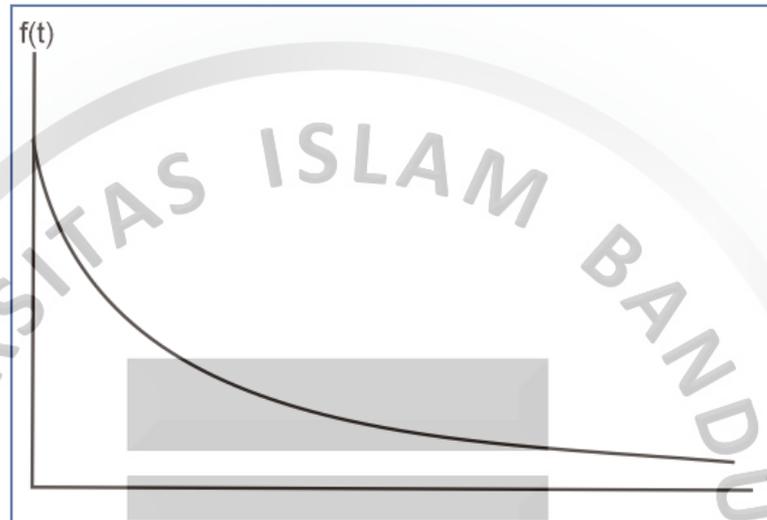
2. Fungsi Keandalan

$$R(t) = 1 - \Phi \left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}} \right) \dots\dots\dots (II.7)$$

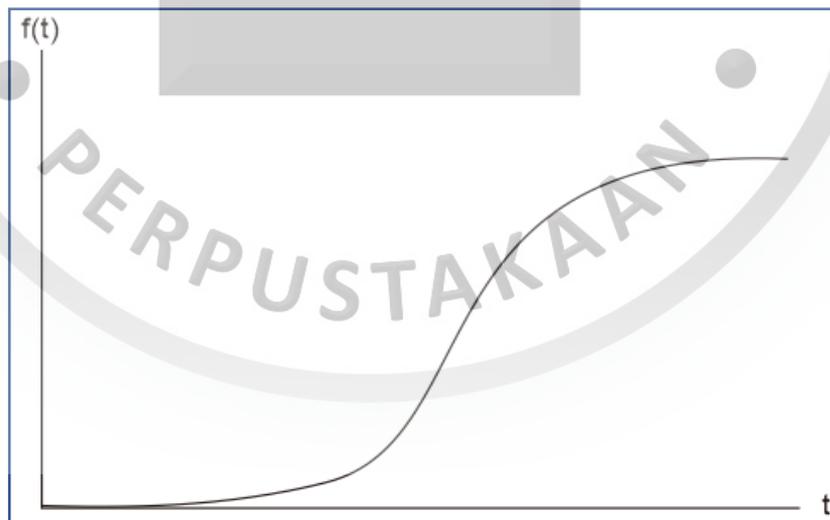
3. Laju Kerusakan

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \dots\dots\dots (II.8)$$

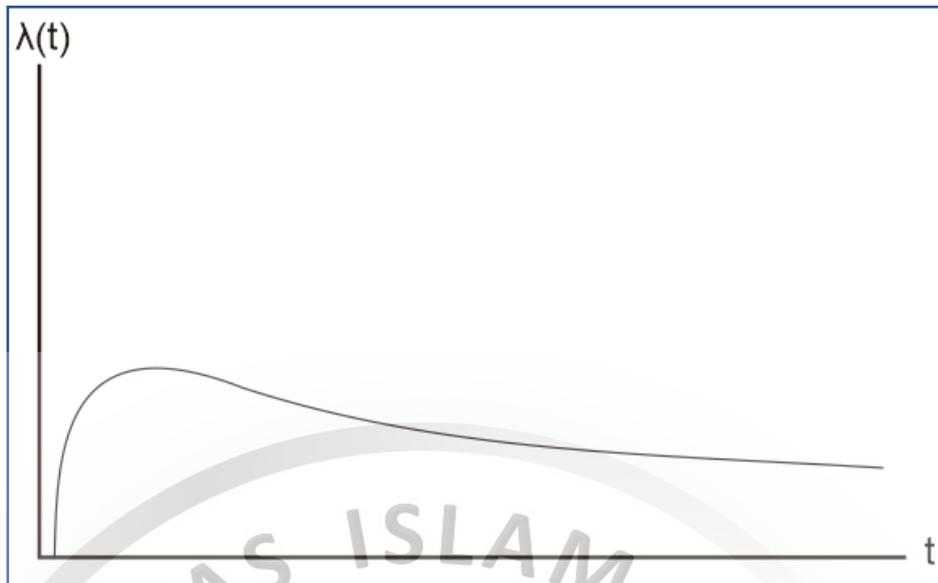
Dengan parameter s adalah parameter bentuk dan t_{med} adalah parameter lokasi yang merupakan waktu rata-rata menuju kegagalan. Distribusi ini didefinisikan hanya untuk nilai positif t dan oleh karena itu lebih tepat sebagai distribusi kegagalan. Fungsi kepadatan kemungkinan untuk distribusi lognormal dapat dilihat pada Gambar 2.7 dan fungsi distribusi kumulatif lognormal pada Gambar 2.8.



Gambar 2. 7 Fungsi distribusi lognormal kepadatan kemungkinan
Sumber : Ebellling (1997)



Gambar 2. 8 Fungsi distribusi kumulatif lognormal
Sumber : Ebellling (1997)



Gambar 2. 9 Laju kerusakan
 Sumber : Ebellling (1997)

4. Distribusi Exponensial

Salah satu distribusi kegagalan yang paling umum dalam rekayasa keandalan adalah eksponensial, atau CFR Model. kegagalan karena peristiwa yang sepenuhnya acak atau kebetulan akan mengikuti distribusi ini (Ebellling, 1997). penduga parameter yang baik dan interval kepercayaan yang tepat dapat dengan mudah dihitung di bawah kondisi pengujian yang berbeda.

1. Fungsi Keandalan

$$R(t) = \exp \left[- \int_0^t \lambda dt \right] = e^{-\lambda t}, t \geq 0 \dots \dots \dots (II.9)$$

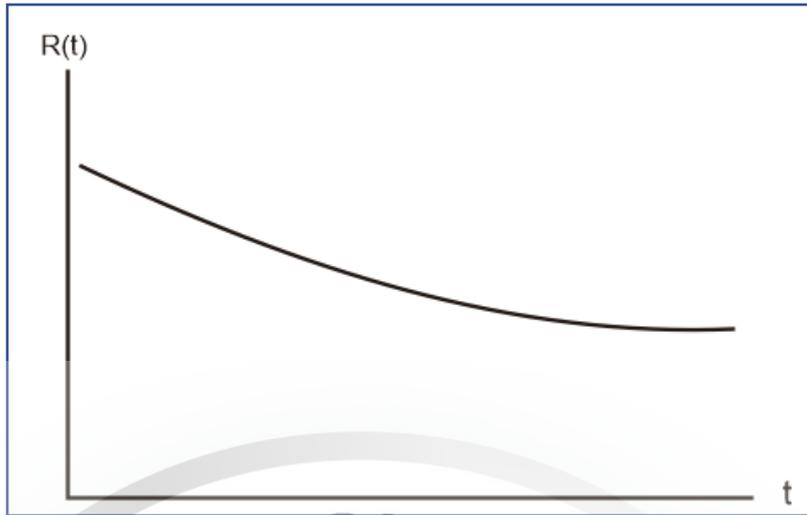
2. Fungsi distribusi kumulatif

$$f(t) = 1 - e^{-\lambda t} \dots \dots \dots (II.10)$$

3. Fungsi Kepadatan kemungkinan

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \dots \dots \dots (II.11)$$

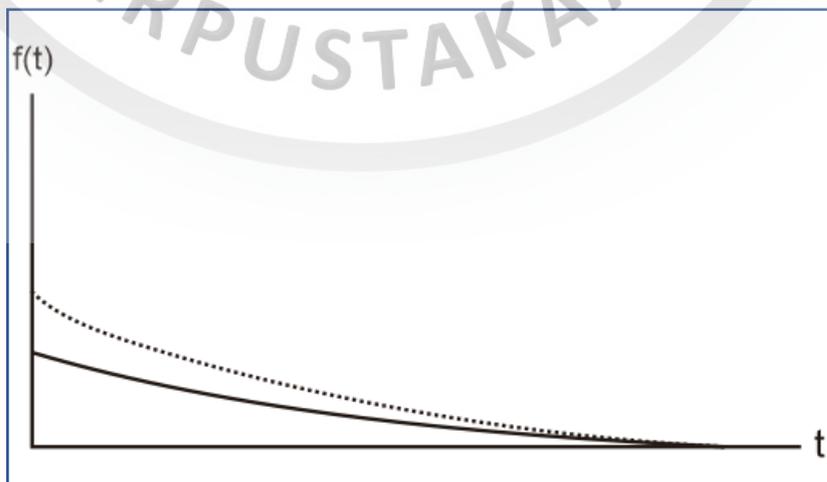
Ketiga fungsi probabilitas yaitu, fungsi keandalan, fungsi distribusi kumulatif dan fungsi kepadatan kemungkinan distribusi eksponensial dapat diilustrasikan ke dalam gambar yang dapat dilihat pada Gambar 2.10 s/d 2.12



Gambar 2. 10 Fungsi keandalan
 Sumber : Ebellling (1997)



Gambar 2. 11 Fungsi distribusi kumulatif
 Sumber : Ebellling (1997)



Gambar 2. 12 Fungsi kepadatan kemungkinan
 Sumber : Ebellling (1997)

2.5.2 Uji Pola Distribusi

Metode grafik merupakan sebuah bagian yang tidak terpisahkan dalam analisis secara statistik. Metode ini digunakan dalam menentukan apakah model yang diuji cocok untuk suatu set data, hal ini dilakukan dengan cara *ploting* data ke dalam sebuah grafik. Metode grafik yang sangat sederhana adalah metode yang didasarkan pada model persamaan garis lurus.

Untuk menilai kecocokan model data pada set tertentu melalui metode grafik tanpa harus membuat grafik adalah dengan melihat nilai r atau yang dikenal sebagai kuadrat dari nilai koefisien korelasi. Berikut adalah persamaannya.

$$r = \frac{n(\sum x_i y_i) - (\sum x_i)(\sum y_i)}{\sqrt{[n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2][n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2]}} \dots \dots \dots (II.12)$$

Perhitungan identifikasi awal untuk masing-masing distribusi dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut (Ebeling, 1997) Dengan i adalah urutan untuk nilai t dan n adalah jumlah populasi t .

1. Distribusi Weibull

$$- X_i = \ln t_i \dots \dots \dots (II.13)$$

$$- F(t_i) = \frac{i-0.3}{n+0.4} \dots \dots \dots (II.14)$$

$$- Y_i = \ln \left[-\ln \left[\frac{1}{1-F(t_i)} \right] \right] \dots \dots \dots (II.15)$$

2. Distribusi Normal

$$- X_i = t_i \dots \dots \dots (II.16)$$

$$- F(t_i) = \frac{i-0.3}{n+0.4} \dots \dots \dots (II.17)$$

$$- Y_i = Z_i = \Phi^{-1}[F(t_i)] \dots \dots \dots (II.18)$$

3. Distribusi Lognormal

$$- X_i = \ln t_i \dots \dots \dots (II.19)$$

$$- F(t_i) = \frac{i-0.3}{n+0.4} \dots \dots \dots (II.20)$$

$$- Y_i = Z_i = \Phi^{-1}[F(t_i)] \dots \dots \dots (II.21)$$

4. Distribusi Eksponensial

$$- X_i = t_i \dots \dots \dots (II.22)$$

$$- F(t_i) = \frac{i-0.3}{n+0.4} \dots \dots \dots (II.23)$$

$$- Y_i = \ln \left(\frac{1}{1-F(t_i)} \right) \dots \dots \dots (II.24)$$

2.6 Uji Kecocokan Distribusi

Setelah mengidentifikasi bentuk pola distribusi, selanjutnya dilakukan uji kecocokan distribusi. Hal ini bertujuan untuk meyakinkan apakah pola distribusi data yang diduga sudah sesuai dengan pola distribusi tertentu untuk diolah lebih lanjut.

2.6.1 Uji Barlesth's untuk distribusi Eksponensial

Uji Barlesth's dilakukan untuk meyakinkan pola yang telah teridentifikasi distribusi eksponensial. Berikut adalah persamaan untuk uji Barlesth's.

Dengan hipotesis sebagai berikut :

H_0 = data kerusakan berdistribusi eksponensial

H_1 = data kerusakan berdistribusi bukan eksponensial

Dengan persamaannya adalah :

$$B = \frac{2r \left[\ln \left(\left(\frac{1}{r} \right) \sum_{i=1}^r t_i \right) - \left(\frac{1}{r} \right) \sum_{i=1}^r \ln t_i \right]}{1 + (r+1)/(6r)} \dots \dots \dots (II.25)$$

Dengan :

t_i = waktu kerusakan ke i

r = jumlah data

2.6.2 Uji Mann's untuk distribusi Weibull

Sebuah test yang spesifik untuk distribusi kerusakan Weibull dikembangkan oleh Mann, Schafer, dan Singpurwalia. Berikut adalah persamaannya.

Dengan hipotesis sebagai berikut :

H_0 = data kerusakan berdistribusi weibull

H_1 = data kerusakan berdistribusi bukan weibull

Dengan persamaannya adalah :

$$M = \frac{K_1 \sum_{k=1}^{K_1+1} \left(\frac{\ln(t_{i+1}) - \ln(t_i)}{M_i} \right)}{K_2 \sum_{i=1}^{r-1} \left(\frac{\ln(t_{i+1}) - \ln(t_i)}{M_i} \right)} \dots \dots \dots (II.26)$$

$$M_i = Z_{i+1} - Z \dots \dots \dots (II.27)$$

$$Z_i = \ln \left[- \ln \left(1 - \frac{i-0.5}{n+0.25} \right) \right] \dots \dots \dots (II.28)$$

$$K_1 = \left\lfloor \frac{r}{2} \right\rfloor \dots \dots \dots (II.29)$$

$$K_2 = \left\lfloor \frac{r-1}{2} \right\rfloor \dots \dots \dots (II.30)$$

Dengan : t_i = waktu kerusakan ke -i

M = Sebuah taksiran

r = Banyak data

2.6.3 Uji Kolmogorov-Smirnov untuk distribusi Normal dan Lognormal

Uji *goodness-of-fit* digunakan di dalam distribusi normal ketika parameter distribusi sedang dihitung. Uji Kolmogorov-Smirnov dikembangkan oleh H. W. Lilliefors. Uji Kolmogorov-Smirnov membandingkan fungsi distribusi kumulatif empiris dengan fungsi distribusi kumulatif normal. (Ebeling, 1997)

Hipotesisnya adalah

H_0 = data kerusakan berdistribusi normal

H_1 = data kerusakan berdistribusi bukan normal

Dengan persamaannya sebagai berikut:

$$D_n = \max(D_1, D_2)$$

$$D_1 = \text{Max}_{1 \leq i \leq n} \left\{ \Phi \left(\frac{t_i - \bar{t}}{s} \right) - \frac{i-1}{n} \right\} \dots \dots \dots (\text{II.31})$$

$$D_2 = \text{Max}_{1 \leq i \leq n} \left\{ \frac{i}{n} - \Phi \left(\frac{t_i - \bar{t}}{s} \right) \right\} \dots \dots \dots (\text{II.32})$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}{n-1}} \dots \dots \dots (\text{II.33})$$

$$\bar{t} = \sum_{i=1}^n \frac{t_i}{n} \dots \dots \dots (\text{II.34})$$

Dengan : t_i = data ke i

Φ = probabilitas nilai Z

n = banyak data

D = sebuah taksiran

2.7 Perhitungan Parameter Sesuai Distribusi

Perhitungan parameter untuk *Time to Failure* (TTF) dan *Time to Repair* (TTR) yang berdistribusi *Weibull* menggunakan rumus sebagai berikut (Ebeling, 1997).

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i) (\sum_{i=1}^n y_i)}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \dots \dots \dots (\text{II.35})$$

$$a = \bar{y} - b \bar{x} \dots \dots \dots (\text{II.36})$$

$$\beta = b \dots \dots \dots (\text{II.37})$$

$$\theta = e^{-\left(\frac{a}{b}\right)} \dots\dots\dots(\text{II.38})$$

Perhitungan parameter distribusi Normal/Lognormal menggunakan rumus sebagai berikut (Ebeling. 1997, h. 371).

$$s = \frac{1}{\beta} \dots\dots\dots(\text{II.39})$$

$$t_{med} = e^{-sa} \dots\dots\dots (\text{II.40})$$

2.7.1 Mean Time To Failure (MTTF)

Mean Time To Failure merupakan nilai keandalan untuk suatu sistem seringkali dinyatakan dalam bentuk angka yang menyatakan ekpektasi masa pakai sistem atau alat tersebut dan sering disebut rata-rata selang waktu (interval waktu) terjadinya kerusakan pada sebuah komponen. Data yang digunakan adalah data interval waktu kerusakan, kemudian dihitung selisihnya antar waktu kejadian kerusakan (Ansori dan Mustajib, 2013)

2.7.2 Mean Time To Repair (MTTR)

MTTR adalah rata-rata waktu komponen untuk dilakukan perbaikan atau perawatan (*repair*). MTTR mengacu pada lamanya perbaikan dan pergantian komponen yang mengalami kerusakan (Ansori dan Mustajib, 2013).

2.7.3 Estimasi MTTF dan MTTR

Distribusi yang dipakai dalam menentukan pola distribusi yaitu, weibull Lognormal, Normal dan Eskponensial, maka untuk menghitung nilai MTTF/MTTR distribusi Weibull menggunakan rumus sebagai berikut (Ebeling. 1997, h. 59).

$$\text{MTTF/MTTR} = \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \dots\dots\dots(\text{II.41})$$

Untuk menghitung nilai MTTF/MTTR distribusi Lognormal/Normal menggunakan persamaan sebagai berikut (Ebeling. 1997, h. 73).

$$\text{MTTF/MTTR} = t_{med} \exp\left(\frac{s^2}{2}\right) \dots\dots\dots(\text{II.42})$$

Untuk menghitung nilai MTTR/MTTF dari distribusi Eskponensial dapat menggunakan persamaan sebagai berikut.(Ebeling. 1997)

$$\text{MTTF/MTTR} = \frac{1}{\lambda} \dots\dots\dots(\text{II.43})$$

2.8 Penentuan Interval Waktu Perawatan Dengan Model *Replacement Age*

Dalam beberapa kasus, katakanlah karena kesulitan dalam menentukan biaya atau keinginan untuk mendapatkan *throughput* maksimum atau pemanfaatan peralatan, kebijakan penggantian yang diperlukan mungkin salah satu yang meminimalkan total *downtime* per unit waktu atau yang setara memaksimalkan ketersediaan. Masalah di bagian ini adalah untuk menentukan waktu terbaik dimana penggantian harus terjadi untuk meminimalkan total waktu henti per unit waktu. Dengan meningkatnya frekuensi penggantian preventif, ada peningkatan waktu henti karena penggantian ini, tetapi konsekuensi dari hal ini adalah pengurangan waktu henti karena penggantian yang gagal, dan kami ingin mendapatkan keseimbangan terbaik di antara mereka (Jardine dan Tsang 2013).

Age Replacement

Tujuannya adalah untuk menentukan usia optimal, t_p , di mana pencegahan penggantian harus terjadi sedemikian sehingga total *down time* per unit waktu dapat diperkecil (Jardine dan Tsang, 2013).

Adapun formulasi perhitungan untuk memperoleh *down time* per satuan waktu dapat memasukan data-data yang sudah diperoleh dengan rumus sebagai berikut :

$$D_{(t)} = \frac{\text{Total Down Time yang diharapkan per siklus}}{\text{Panjang siklus yang diharapkan}}$$
$$D_{(t_p)} = \frac{T_p(R_{(t_p)}) + T_f[1 - R_{(t_p)}]}{(t_p + T_p) + [M(t_p) + T_f][1 - R_{(t_p)}]} \dots \dots \dots \text{(II.44)}$$

Dengan nilai M dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut :

$$M_{t_p} = \frac{MTTF}{1 - R_{(T_p)}} \dots \dots \dots \text{(II.45)}$$

2.9 Penentuan Biaya Perawatan

Preventive cost (C_p) merupakan biaya yang timbul karena adanya perawatan mesin yang memang sudah dijadwalkan. Sedangkan *failure cost* (C_f) merupakan biaya yang timbul karena terjadi kerusakan di luar perkiraan yang menyebabkan mesin produksi berhenti pada saat produksi sedang berjalan (Soesetyo dan Bendatu, 2014).

Adapun rumus untuk menghitung biaya perawatan adalah sebagai berikut :

$$C_f = [\text{Biaya komponen} + (\text{Biaya tenaga teknisi} + \text{biaya kerugian produksi}) \times t_f] \dots (\text{II.46})$$

$$C_p = [\text{Biaya komponen} + (\text{Biaya tenaga teknisi} + \text{biaya kerugian produksi}) \times T_p] \dots (\text{II.47})$$

