

Bab 2

Landasan Teori

2.1. Maintenance

2.1.1. Pengertian Maintenance

Menurut Heizer, J. dan Render, B (2001), pemeliharaan adalah : “*all activities involved in keeping a system's equipment in working order*”. Artinya: pemeliharaan adalah segala aktivitas yang terlibat dalam menjaga sistem peralatan agar bekerja dengan baik. Oleh karena itu perawatan komponen mesin dan mesinnya harus dilakukan untuk mencegah hal-hal yang tidak diinginkan. Kegiatan perawatan juga bermaksud untuk meminimal kerusakan pada mesin atau komponen.

Menurut Assauri, S. (2008), *maintenance* adalah kegiatan untuk memelihara atau menjaga fasilitas atau peralatan pabrik dan melakukan perbaikan atau penyesuaian atau pergantian yang diperlukan agar mendapatkan suatu keadaan operasi produksi yang optimal sesuai dengan apa yang direncanakan. Jadi dari pendapat tersebut dapat diartikan, perawatan merupakan gabungan dari setiap kegiatan yang dikerjakan untuk memperpanjang masa kerja mesin atau umur suatu komponen mesin. Akibat dari kegiatan perawatan tersebut maka jalan produksi dapat berjalan sesuai dengan yang direncanakan walaupun tidak berjalan seratus persen.

Perawatan mesin dan komponennya sangat diperlukan dalam setiap kegiatan produksi agar mesin dapat digunakan secara optimal sesuai dengan kapasitas produksinya. Ketika mesin mengalami kerusakan atau bermasalah, maka jalannya produksi dapat terganggu yang berakibat pada hasil akhir produksi. Kegiatan perawatan mesin dan setiap komponen pada mesin harus direncanakan dengan baik. Perusahaan industri harus mampu mengintegrasikan setiap aktivitas baik kegiatan produksi maupun pendukung (Tim Dosen, 2014). Sehingga waktu henti (*downtime*) kegiatan produksi yang merugikan dapat diminimasi menjadi seminimal mungkin.

2.1.2. Tujuan *Maintenance*

Tujuan utama dari perawatan merupakan merawat suatu komponen atau mesin agar pada kondisi yang telah ditentukan dengan biaya pemeliharaan seminimal mungkin. Menurut Heizer, J. dan Render, B. (2001), yaitu “Tujuan perawatan adalah untuk memelihara system dengan biaya minimal, dimana system harus dirancang dan dipelihara untuk mencapai standar mutu dan kinerja yang diharapkan”.

Tujuan utama dari perawatan menurut Assauri, S. (2008), sebagai berikut:

1. Rencana produksi dapat terpenuhi oleh kemampuan produksi.
2. Menjaga kualitas produk pada kondisi yang tepat untuk memenuhi apa yang dibutuhkan oleh produk dan supaya proses produksi berjalan lancar tidak ada kendala.
3. Untuk membantu mengurangi pemakaian dan penyimpangan yang di luar batas dan menjaga modal yang di investasikan.
4. Untuk dapat meminimasi biaya perawatan agar serendah mungkin, yaitu dengan melakukan kegiatan perawatan secara efisien dan efektif.
5. Meminimasi kegiatan perawatan yang mungkin dapat membahayakan keselamatan pekerja.
6. Melakukan kegiatan kerja sama yang memiliki fungsi utama untuk mencapai tujuan sebuah perusahaan yaitu mendapatkan tingkat keuntungan (*return on investment*) yang sebaik mungkin dan total biaya produksi yang rendah.

Dapat disimpulkan dari beberapa pendapat diatas, bahwa tujuan *maintenance* adalah untuk mempermudah penggunaan komponen secara optimal dari peralatan yang digunakan melalui proses penggantian, perawatan, dan perbaikan dari komponen atau mesin yang telah ditentukan. Kegiatan perawatan tersebut harus bermanfaat bagi kelancaran produksi dan meminimalkan biaya.

2.1.3. Jenis-Jenis Perawatan

Secara umum, perawatan dapat diklasifikasikan menjadi dua cara (Corder, A., 1992), yaitu sebagai berikut:

1. Pemeliharaan terencana (*planned maintenance*)

Perawatan terencana merupakan pemeliharaan yang dilakukan untuk meminimasi kerusakan komponen atau mesin dikemudian hari, pengendalian dan pencatatan sesuai dengan yang telah direncanakan diawal. Menurut Corder, A. (1992), pemeliharaan terencana dapat dibagi menjadi dua sebagai berikut:

a. *Preventive maintenance*

Aktivitas perawatan yang dilakukan sebelum komponen atau mesin mengalami kerusakan. Menurut Haizer, J. dan Render, B. (2001), *preventive maintenance* merupakan “a plan that involves routine inspection, servicing, and keeping facilities in good repair to prevent failure”. Artinya sebuah perencanaan yang memerlukan kegiatan pemeriksaan rutin, perawatan, dan menjaga fasilitas perusahaan agar dalam keadaan baik agar tidak terjadi kerusakan.

b. *Corrective maintenance*

Kegiatan perawatan yang dikerjakan setelah komponen rusak dan harus segera diperbaiki. Menurut Haizer, J. dan Render, B. (2001), *corrective maintenance* merupakan “*remedial maintenance that occurs when equipment fails and must be repaired on an emergency or priority basis*”. Artinya pemeliharaan ulang yang disebabkan oleh komponen rusak dan harus segera diperbaiki karena keadaan darurat atau karena merupakan sebuah prioritas utama.

Pemeliharaan terencana harus memperhatikan jadwal operasi produksi pabrik, rencana perawatan, dan sasaran perencanaan perawatan. Jadi, perawatan terencana merupakan pemeliharaan yang optimal untuk meminimasi keadaan darurat dan waktu menganggur mesin (*downtime*).

2. Pemeliharaan tak terencana (*unplanned maintenance*)

Pemeliharaan tak terencana merupakan pemeliharaan darurat, yang diartikan sebagai perawatan dimana perlu segera mendapat tindakan untuk mencegah kerusakan yang lebih serius (Corder, A., 1992).

2.2. Pengendalian Mutu Statistik

Keberadaan suatu produk maupun jasa tidak luput dari tuntutan persaingan. Bahkan tidak diragukan lagi bahwa mutu merupakan karakteristik utama pada perusahaan agar keberlangsungan hidup perusahaan dapat bertahan (Tim Dosen, 2014). Dengan kata lain, hanya produk atau jasa yang bermutulah yang akan bertahan dalam persaingan.

Untuk menjaga konsistensi produk dan jasa yang bermutu sesuai dengan keinginan konsumen, ada berbagai cara untuk melakukan pengendalian mutu. Salah satu alat yang dapat digunakan adalah *seven tools* yang terdiri dari *check sheet*, diagram pareto, *fishbone diagram*, histogram, *control chart*, *scatter diagram*, *stratifikasi*. Pada penelitian kali ini yang akan digunakan adalah diagram pareto, untuk menunjukkan masalah berdasarkan frekuensi kerusakan komponen.

2.2.1. Diagram Pareto

Diagram pareto adalah suatu diagram yang menggambarkan urutan klasifikasi dari urutan rangking tertinggi hingga terendah. Jika dihubungkan dengan kasus yang akan dibahas dalam penelitian maka rangking tertinggi merupakan komponen kritis. Rangking tertinggi tersebut harus mendapat perhatian, karena dengan melakukan tindakan pada rangking tertinggi tersebut maka persentase komponen kritis akan berkurang.

Diagram pareto dapat dibuat dengan mudah, cara pembuatan diagram pareto sebagai berikut:

1. Tentukan banyaknya kejadian serta urutkan dari populasi yang paling besar ke yang terkecil.
2. Hitung persentase kumulatif dari masing-masing populasi data.
3. Membuat diagram batang dari populasi, lalu buat diagram persentase kumulatif pada grafik batang tersebut.

2.3. Keandalan

Sebuah fungsi yang melengkapi fungsi distribusi kumulatif adalah fungsi reliabilitas atau keandalan. Reliability merupakan fungsi kelangsungan hidup yang ditentukan dari probabilitas bahwa peralatan akan tetap bertahan setidaknya sampai beberapa waktu yang ditentukan (Jardine, A.K.S., 1973).

2.4. Laju Kerusakan

Laju kerusakan merupakan hal yang harus diperhatikan untuk menganalisa kerusakan. Pola laju kerusakan suatu peralatan biasanya mengikuti pola bathtub curve (Jardine, A.K.S., 1973), sebagai berikut:

1. Phase 1 : Masa awal (*running-in periode*)

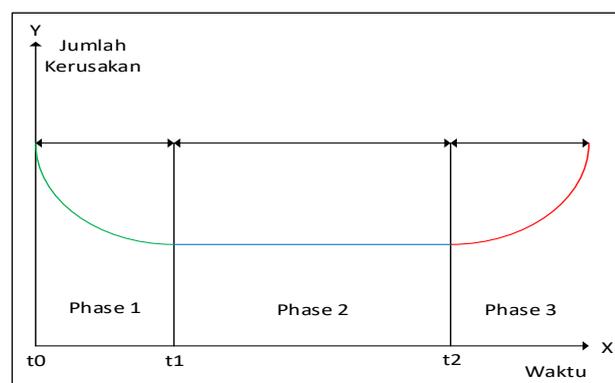
Kerusakan terjadi pada awal (t_0) dan kerusakan terjadi pada saat system mulai dijalankan.

2. Phase 2 : Pengoperasian normal (*normal operation*)

Pada phase dua ini laju kerusakan cenderung tetap atau konstan yaitu berada diantar t_1 dan t_2 .

3. Phase 3 : Masa aus (*deterioration / wear out*)

Pada phase 3, mesin atau komponen mengalami penurunan performansi, karena cenderung memiliki laju kerusakan yang memuncak atau terjadinya kerusakan.



Gambar 2.1. Siklus hidup mesin atau komponen (Jardine, A.K.S., 1973)

2.5. Identifikasi dan Parameter Distribusi

2.5.1 Identifikasi Distribusi Awal

Mengidentifikasi distribusi dapat menggunakan metode *least square* dan regresi linier (Ebeling, C., 1997), perhitungannya dapat dilakukan sebagai berikut:

1. *Rank adjustment*

$$r(ti)^{-1} = \frac{n+0.4}{n-i+0.7} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana: $r(ti)^{-1}$ adalah *rank adjustment*
 i adalah data waktu ke t
 n adalah jumlah kerusakan

Perhitungan identifikasi awal pada masing-masing distribusi kerusakan sebagai berikut:

1. Distribusi Normal

a. $Xi = ti \dots\dots\dots (2.2)$

b. $Yi = Zi = \varphi - 1(F(ti)) = \frac{ti-\mu}{\sigma} \dots\dots\dots (2.3)$

Nilai $Zi = \varphi - 1(F(ti))$ didapat dari tabel *standardized normal probabilities*.

2. Distribusi Eksponensial

a. $Xi = \ln ti \dots\dots\dots (2.4)$

b. $Yi = \ln[\frac{1}{1-F(ti)}] \dots\dots\dots (2.5)$

3. Distribusi Weibull

a. $Xi = \ln (\ln(ti)) \dots\dots\dots (2.6)$

b. $Yi = \ln[rangking] \dots\dots\dots (2.7)$

c. $b = \frac{n \sum xi.yi - (\sum xi \times \sum yi)}{n \sum xi^2 - (\sum yi)^2} \dots\dots\dots (2.8)$

d. $a = \frac{\sum yi}{n} - b \frac{\sum xi}{n} \dots\dots\dots (2.9)$

Dimana: Xi adalah variabel independen

Y_i adalah variabel dependen
 t_i adalah interval waktu kerusakan
 b adalah koefisien variable x
 a adalah konstanta

2.5.2. Pengujian Kesesuaian Distribusi Menggunakan Kolmogorov-Smirnov

Uji Kolmogorov-Smirnov dilakukan untuk membuktikan apakah waktu antar kerusakan berdistribusi kerusakan weibull atau tidak. Langkah-langkah untuk melakukan uji Kolmogorov-Smirnov sebagai berikut:

1. Membuat Hipotesis
2. Tentukan kriteria penerimaan
3. Uji Statistik
4. Kesimpulan

Pengujian distribusi data menggunakan aplikasi spss, yaitu uji distribusi *non-parametrik* (Uji Kolmogorov-Smirnov).

2.5.3 Parameter Distribusi

Berikut merupakan parameter untung masing-masing distribusi:

1. Distribusi Normal

Untuk distribusi normal parameternya adalah μ dan σ .

$$\mu = \frac{\sum t_i}{n} \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana: μ adalah rata-rata
 t_i adalah interval kerusakan
 n adalah jumlah kerusakan

$$\sigma^2 = \frac{(n-1)s}{n} \dots \dots \dots (2.11)$$

Dimana: σ^2 adalah sampel varians
 s adalah standar deviasi
 n adalah jumlah kerusakan

2. Distribusi Eksponensial

$$\lambda = \frac{r}{T} \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana: λ adalah laju kegagalan konstan
 r adalah n (jumlah kerusakan)
 T adalah total waktu kerusakan

3. Distribusi Weibull

Untuk distribusi weibull parameternya adalah α dan β .

$$\alpha = \exp(a) \dots \dots \dots (2.13)$$

$$\beta = \frac{1}{b} \dots \dots \dots (2.14)$$

Dimana: α adalah parameter skala
 β adalah parameter bentuk (laju kerusakan)

2.6. Distribusi Kerusakan

Mesin dan komponen memiliki karakteristik kerusakan yang beragam. Sebuah mesin ataupun komponen yang sama jika dioperasikan dengan kondisi berbeda, maka karakteristik kerusakannya juga akan berbeda. Untuk menganalisa perawatan untuk mesin dapat menggunakan beberapa jenis distribusi yang umum digunakan seperti distribusi normal, eksponensial, dan weibull.

2.6.1. Distribusi Normal

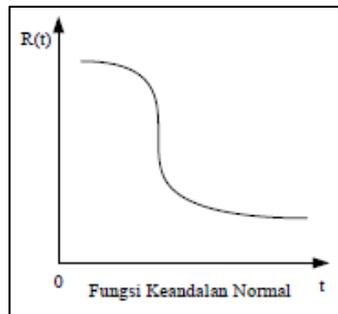
Distribusi normal adalah distribusi probabilitas yang biasanya digunakan dalam teori maupun dalam aplikasi statistik. Distribusi normal sangat cocok digunakan pada *phase 3 (wear out)* mesin. Distribusi normal memiliki laju kerusakan yang menarik karena semakin bertambahnya umur sebuah komponen maka probabilitas kerusakan komponen akan naik sesuai dengan umur komponen. Beberapa fungsi yang ada pada distribusi normal adalah sebagai berikut (Jardine, A.K.S., 1973):

1. Fungsi keandalan

$$R(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_1^{\infty} \exp\left[-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] \dots \dots \dots (2.15)$$

Dimana: $R(t)$ adalah fungsi keandalan
 t adalah periode
 μ adalah rata-rata
 σ adalah standar deviasi

Kurva fungsi keandalan dapat dilihat pada gambar 2.2.



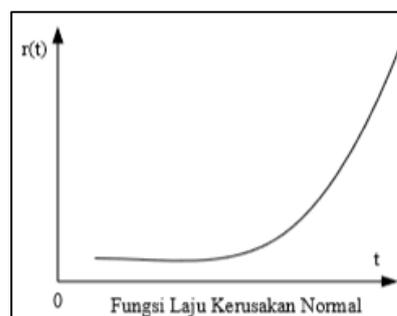
Gambar 2.2. Kurva fungsi keandalan normal (Jardine, A.K.S., 1973)

2. Fungsi laju kerusakan

$$r(t) = \frac{\exp\left[-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]}{\int_1^{\infty} \exp\left[-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] dt} \dots\dots\dots (2.16)$$

Dimana: $r(t)$ adalah fungsi laju kerusakan
 t adalah periode
 μ adalah rata-rata
 σ adalah standar deviasi

Kurva laju kerusakan dapat dilihat pada gambar 2.3.



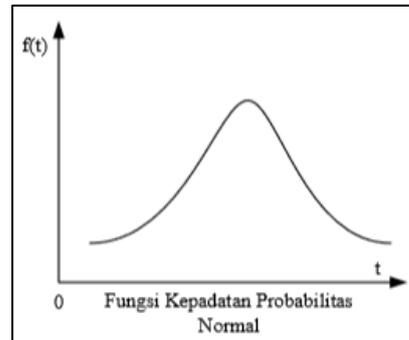
Gambar 2.3. Kurva fungsi laju kerusakan normal (Jardine, A.K.S., 1973)

3. Fungsi kepadatan kemungkinan

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] \dots\dots\dots (2.17)$$

Dimana: $f(t)$ adalah fungsi kepadatan kemungkinan
 t adalah periode
 μ adalah rata-rata
 σ adalah standar deviasi

Kurva kepadatan probabilitas dapat dilihat pada gambar 2.4.



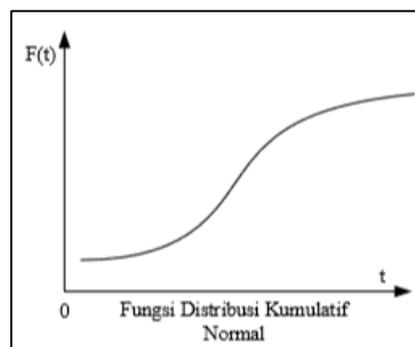
Gambar 2.4. Kurva fungsi kepadatan probabilitas normal (Jardine, A.K.S., 1973)

4. Fungsi distribusi kumulatif

$$F(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t \exp\left[-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] \dots\dots\dots (2.18)$$

Dimana: $F(t)$ adalah distribusi kumulatif
 t adalah periode
 μ adalah rata-rata
 σ adalah standar deviasi

Kurva distribusi kumulatif dapat dilihat pada gambar 2.5 dibawah.



Gambar 2.5. Kurva fungsi distribusi kumulatif normal (Jardine, A.K.S., 1973)

2.6.2. Distribusi Eksponensial

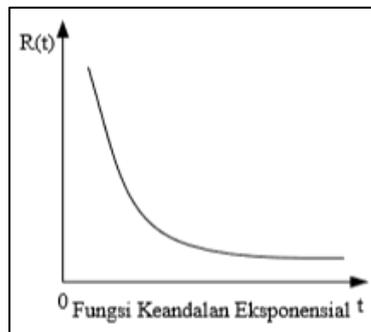
Distribusi eksponensial merupakan gambaran suatu kerusakan mesin ataupun komponen yang diakibatkan oleh kerusakan pada salah satu komponen yang menyebabkan mesin mati total atau tidak dapat beroperasi. Distribusi eksponensial memiliki kelajuan yang konstan terhadap waktu. Beberapa fungsi yang ada pada distribusi eksponensial adalah sebagai berikut (Jardine, A.K.S., 1973):

1. Fungsi keandalan

$$R(t) = e^{-\lambda t} \dots\dots\dots (2.19)$$

Dimana: R(t) adalah fungsi keandalan
 t adalah periode
 λ adalah laju kegagalan konstan

Kurva fungsi keandalan dapat dilihat pada gambar 2.6.



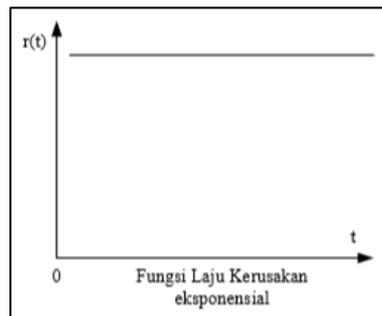
Gambar 2.6. Kurva fungsi keandalan eksponensial (Jardine, A.K.S., 1973)

2. Fungsi laju kerusakan

$$r(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \dots\dots\dots (2.20)$$

Dimana: r(t) atau β adalah laju kerusakan
 f(t) adalah fungsi kepadatan kemungkinan
 R(t) adalah fungsi keandalan

Kurva laju kerusakan dapat dilihat pada gambar 2.7.



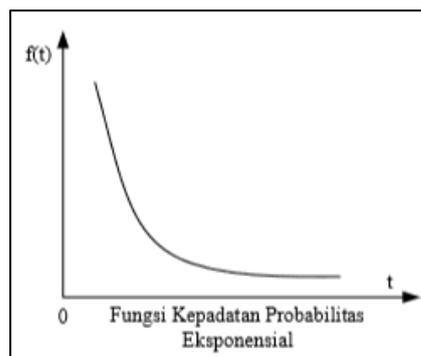
Gambar 2.7. Kurva fungsi laju kerusakan eksponensial (Jardine, 1973)

3. Fungsi kepadatan kemungkinan

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \dots\dots\dots (2.21)$$

Dimana: f(t) adalah kepadatan kemungkinan
 t adalah periode
 λ adalah laju kegagalan konstan
 e adalah eksponensial, nilai konstanta 2.71828183

Kurva kepadatan probabilitas dapat dilihat pada gambar 2.8.



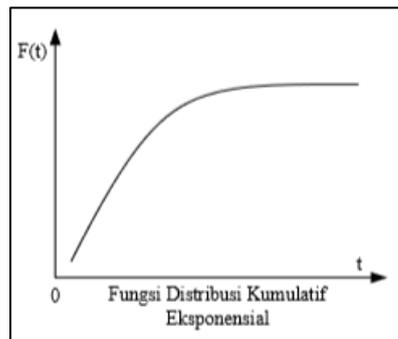
Gambar 2.8. Kurva fungsi kepadatan probabilitas eksponensial (Jardine, A.K.S., 1973)

4. Fungsi distribusi kumulatif

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \dots\dots\dots (2.22)$$

Dimana: F(t) adalah fungsi distribusi kumulatif
 t adalah periode
 λ adalah laju kegagalan konstan
 e adalah eksponensial, nilai konstanta 2.71828183

Kurva distribusi kumulatif dapat dilihat pada gambar 2.9.



Gambar 2.9. Kurva fungsi distribusi kumulatif eksponensial (Jardine, A.K.S., 1973)

2.6.3. Distribusi Weibull

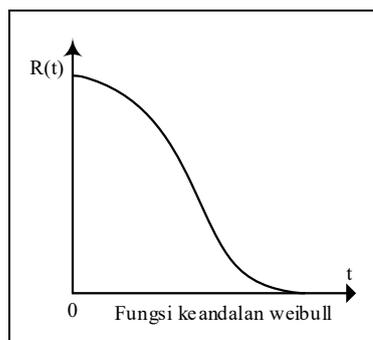
Distribusi weibull merupakan distribusi yang digunakan dalam model distribusi masa hidup (*life time*). Distribusi tersebut biasanya digunakan untuk menggambarkan karakteristik kerusakan dan keandalan suatu komponen. Distribusi empirik sederhana yang mewakili data aktual, keuntungan dari distribusi ini yaitu dapat digunakan walaupun sampelnya sedikit. Beberapa fungsi yang ada pada distribusi weibull adalah sebagai berikut (Jardine, A.K.S., 1973):

1. Fungsi keandalan

$$R(t) = \exp[-(\frac{t}{\alpha})^\beta] \dots\dots\dots (2.23)$$

Dimana: R(t) adalah fungsi keandalan
 t adalah periode
 β adalah parameter bentuk
 α adalah parameter skala

Kurva fungsi keandalan dapat dilihat pada gambar 2.10 dibawah.



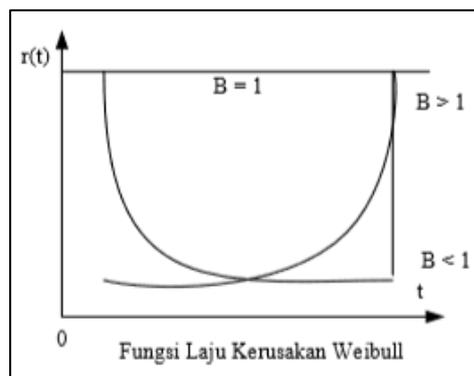
Gambar 2.10. Kurva fungsi keandalan weibull (Jardine, A.K.S., 1973)

2. Fungsi laju kerusakan

$$r(t) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta-1} \dots\dots\dots (2.24)$$

Dimana: $r(t)$ adalah fungsi keandalan
 t adalah periode
 β adalah parameter bentuk
 α adalah parameter skala

Kurva laju kerusakan dapat dilihat pada gambar 2.11.



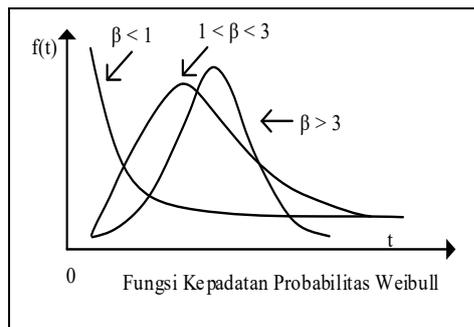
Gambar 2.11. Kurva fungsi laju kerusakan weibull

3. Fungsi kepadatan kemungkinan

$$f(t) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta\right] \dots\dots\dots (2.25)$$

Dimana: $f(t)$ adalah kepadatan kemungkinan
 t adalah periode
 β adalah parameter bentuk
 α adalah parameter skala

Kurva kepadatan probabilitas dapat dilihat pada gambar 2.12 dibawah.



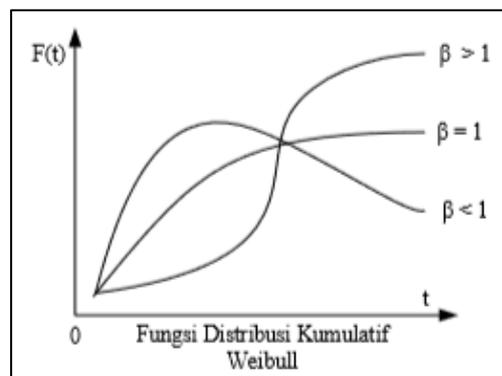
Gambar 2.12. Kurva fungsi kepadatan kerusakan Weibull

4. Fungsi distribusi kumulatif

$$F(t) = 1 - \exp \left[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta \right] \dots\dots\dots (2.26)$$

Dimana: $F(t)$ adalah fungsi distribusi kumulatif
 t adalah periode
 β adalah parameter bentuk
 α adalah parameter skala

Kurva distribusi kumulatif dapat dilihat pada gambar 2.13 dibawah.



Gambar 2.13. Kurva fungsi distribusi kumulatif weibull

2.7. Model Penggantian *Preventive*

2.7.1. Model Umur Penggantian

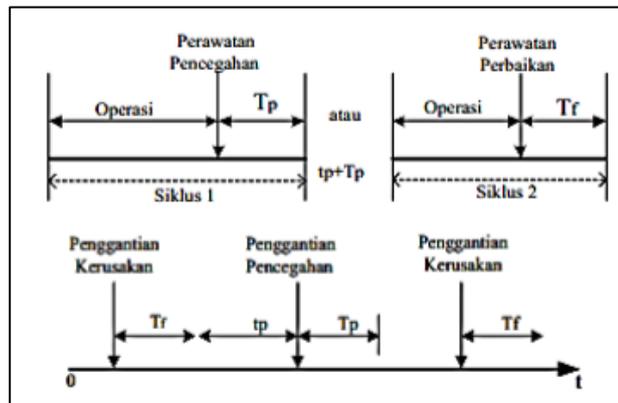
Model umur penggantian merupakan model penggantian dengan memperhatikan umur penggantian dari peralatan, dimana interval waktu penggantian sama dengan umur komponen peralatan. Sehingga memungkinkan menghindari waktu penggantian yang baru saja diperbaiki. Model umur penggantian cocok diterapkan untuk komponen yang interval waktu pengantiannya relative tidak mempengaruhi komponen lainnya. Model penggantian umur penggantian hanya mengganti komponen yang rusak. Jika dalam satu group ada komponen yang rusak makan hanya komponen rusak yang diganti.

Model umur penggantian memiliki dua siklus penggantian pencegahan, sebagai berikut:

1. Siklus pencegahan, komponen diganti karena telah mencapai umur penggantian yang sesuai rencana.

- Siklus kerusakan, Komponen diganti karena mengalami kerusakan sebelum mencapai umur penggantian yang direncanakan.

Model umur penggantian yang dijelaskan pada penjelasan diatas dapat dilihat pada gambar 2.14.



Gambar 2.14. Model umur penggantian (Jardine, A.K.S., 1973)

Rumus dari model umur penggantian, sebagai berikut:

$$C(Tp) = \frac{\text{Ekspetasi Ongkos Penggantian per siklus}}{\text{Ekspetasi Panjang Siklus}}$$

Dimana:

$$\text{Ekspetasi panjang siklus} = (\text{panjang siklus 1} \times \text{probabilitas siklus 1}) + (\text{panjang siklus 2} \times \text{probabilitas siklus 2})$$

$$\int t \cdot f(t) = \exp\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta (t - 1) \dots\dots\dots (2.27)$$

- Dimana : t.ft adalah ekspetasi panjang siklus
 t adalah periode
 α adalah parameter skala
 β adalah parameter bentuk

$$C(tp) = \frac{Cp.R(t)+Cf.(1-R(t))}{(t+Tp).R(t)+\int_0^{tp} t.f(t)dt+Tf.(1-R(t))} \dots\dots\dots (2.28)$$

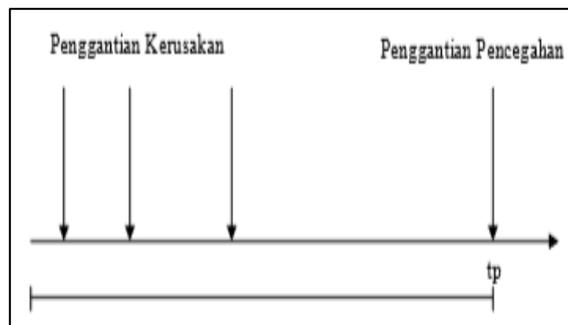
- Dimana : Cf adalah ongkos penggantian kerusakan
 Cp adalah ongkos penggantian pencegahan

Tf adalah waktu penggantian kerusakan
 Tp adalah waktu penggantian pencegahan
 t adalah interval waktu penggantian

2.7.2. Model Interval Penggantian

Model interval penggantian merupakan model penggantian komponen tanpa memperdulikan umur komponen mesin, interval waktu penggantian komponen konstan. Model ini digunakan jika perusahaan menginginkan konsistensi terhadap waktu penggantian yang telah ditentukan walaupun sebelumnya telah dilakukan penggantian karena komponen tersebut rusak.

Kebijakan penggantian pencegahan pada model interval penggantian dapat dilihat pada gambar 2.15 dibawah.



Gambar 2.15. Model interval penggantian (Jardine, A.K.S., 1973)

Rumus dari model interval penggantian, sebagai berikut:

$$C(tp) = \frac{\text{Ekspetasi Ongkos Penggantian per siklus}(0, Tp)}{\text{Panjang Interval Waktu}}$$

Dimana:

Ekspetasi ongkos penggantian dalam interval (0, tp) = Ongkos preventif replacement + Ekspetasi ongkos failure replacement = C(Tp) + Cf(Tf). H(tp)

Panjang Interval Waktu = tp

$$\int_{t-1}^t f(t) = \exp\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta \dots \dots \dots (2.29)$$

$$H(tp) = \sum_{i=0}^{t-1} [1 + H(t - i - 1)] \times \int_{t-1}^t f(t) \dots \dots \dots (2.30)$$

Dimana : H(tp) adalah ekspetasi jumlah kerusakan dalam interval waktu

t adalah interval waktu penggantian

i adalah interval waktu penggantian sebelumnya

α adalah parameter skala

β adalah parameter bentuk

$$C(tp) = \frac{Cp + Cf \cdot H(tp)}{tp} \dots \dots \dots (2.31)$$

Dimana : Cf adalah ongkos penggantian kerusakan

Cp adalah ongkos penggantian pencegahan

tp adalah interval waktu penggantian

$H(tp)$ adalah ekspektasi jumlah kerusakan dalam interval waktu.