

Bab 2

Tinjauan Pustaka

2.1. Definisi *Maintenance*

Menurut Jay Heizer dan Barry Render, (2001) dalam bukunya “Manajemen Operasi” pemeliharaan (*maintenance*) adalah pemeliharaan adalah segala hal terstruktur atau kegiatan kegiatan yang di dalamnya adalah usaha untuk terus menjaga sistem peralatan agar bekerja dengan sebaik mungkin. Menurut Sofyan Assauri (2004) pemeliharaan adalah kegiatan untuk memelihara atau menjaga fasilitas/peralatan pabrik dan mengadakan perbaikan atau penyesuaian/penggantian yang diperlukan agar supaya terdapat suatu keadaan operasi produksi yang memuaskan sesuai dengan apa yang direncanakan. Dari beberapa pendapat di atas bahwa dapat disimpulkan bahwa kegiatan pemeliharaan merupakan kegiatan perbaikan atau penyesuaian ataupun penggantian yang diperlukan agar system dapat bekerja dengan efektif dan efisien sehingga menghasilkan hasil produksi yang memuaskan sesuai dengan apa yang telah direncanakan

2.1.1. Jenis-Jenis *Maintenance*

Pemeliharaan dilakukan untuk terus menunjang produksi agar berlangsung dengan lancar dalam beroperasi baik itu merupakan industry manufaktur maupun industry non-manufaktur. Pemeliharaan dibagi menjadi beberapa kriteria sebagai berikut :

2.1.1.1. *Preventive Maintenance*

Preventive maintenance merupakan aktivitas perawatan yang dilakukan sebelum komponen atau mesin mengalami kerusakan. Selain itu, menurut Jay Haizer & Barry Render (2001) pada bukunya tertulis, *preventive maintenance* adalah “*a plan that involves routine inspection, servicing, and keeping facilities in good repair to prevent failure*”. Memiliki arti, sebuah perencanaan yang membutuhkan inspeksi rutin, pemeliharaan dan menjaga fasilitas tetap baik sehingga tidak terjadi kerusakan dikemudian hari. *Preventive maintenance* terdiri dari dua jenis, yaitu:

1. *Routine maintenance*

Routine maintenance merupakan kegiatan perawatan yang pelaksanaannya dilakukan secara rutin atau sering misalkan.

2. *Periodic maintenance*

Periodic maintenance yaitu kegiatan perawatan yang pelaksanaannya dilakukan secara periodik atau ditentukan waktu perawatannya dalam jangka waktu tertentu.

Tugas dari *preventive maintenance* terbagi menjadi 4 kategori, yaitu:

- a. *Time directed maintenance*, perawatan terjadwal dalam waktu tertentu.
- b. *Condition based maintenance*, perawatan sesuai kondisi mesin.
- c. *Failure finding*, perawatan dengan memeriksa fungsi tersembunyi dalam selang waktu yang tetap.
4. *Run to failure*, mesin dibiarkan bekerja sampai mengalami kerusakan baru dilakukan tindakan.

2.1.1.2 Predictive Maintenance

Predictive maintenance atau pemeliharaan prediktif adalah teknik yang dirancang untuk membantu menentukan kondisi peralatan untuk memprediksi kapan pemeliharaan harus dilakukan. Keuntungan utama pemeliharaan prediktif adalah untuk memungkinkan penjadwalan pemeliharaan korektif dan untuk mencegah kegagalan peralatan yang tak terduga.

2.1.1.3. Breakdown Maintenance

Breakdown maintenance merupakan keadaan ketikan mesin tidak dapat beroperasi dengan normal atau operasional produksi yang berhenti secara total dalam kondisi mendadak kemudian perawatan kerusakan atau peralatan kerja dilaksanakan, singkatnya perawatan baru dilaksanakan saat keadaan mesin telah rusak.

2.1.1.4. Corrective Maintenance

Corrective maintenance yaitu perawatan yang dilakukan setelah suatu komponen mesin mengalami kerusakan dan harus segera diperbaiki. Sedangkan menurut Jay Heizer & Barry Render (2001) menurut mereka *corrective maintenance* adalah “*remedial maintenance that occurs when equipment fails and must be repaired on an emergency or priority basis*”. Artinya, pemeliharaan ramedial (pemeliharaan ulang) yang terjadi saat komponen rusak dan harus diperbaiki secara darurat atau menjadi prioritas utama.

2.1.2. Tujuan Maintenance

Tujuan utama dari perawatan merupakan merawat suatu komponen atau sistem sebuah mesin agar memiliki kondisi yang telah ditentukan dengan biaya pemeliharaan yang seminimal mungkin. Selain itu, menurut Jay Heizer dan Berry Render (2001) tujuan perawatan adalah memelihara sistem dengan biaya minimal, dimana sistem harus dirancang dan dipelihara untuk mencapai standar mutu dan kinerja yang diharapkan. Untuk itu Tujuan utama dari perawatan merupakan merawat suatu komponen atau sistem sebuah mesin agar memiliki kondisi yang ditentukan dengan biaya perawatan yang seminimal mungkin

Perawatan suatu alat atau mesin memiliki tujuan utama yang diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Memperpanjang umur mesin atau alat.
2. Menjaga agar kualitas fungsi dari mesin.
3. Memastikan kesiapan operasional dari peralatan atau mesin saat akan digunakan secara mendadak.
4. Meminimalisir atau mengurangi terjadinya kerusakan berat yang menyebabkan terhambatnya atau berhentinya suatu kegiatan yang dilakukan.
5. Menjamin keselamatan pekerja yang mengoperasikan alat tersebut.

2.2. Diagram Pareto

Diagram Pareto adalah metode dalam mengorganisasikan kesalahan, atau cacat untuk membantu fokus atau usaha penyelesaian masalah. (Jay dan Barry Render, 2009). Prinsip Pareto sesuai dengan hukum Pareto yang menyatakan bahwa sebuah grup selalu memiliki persentase terkecil (20%) yang bernilai atau memiliki dampak terbesar (80%). Pareto *chart* mengidentifikasi 20% penyebab masalah vital untuk mewujudkan 80% *improvement* secara keseluruhan.

Diagram Pareto adalah suatu diagram yang terdapat di 7 *tools* berupa jenjang (tangga) yang mempunyai fungsi untuk menentukan dan melihat perbedaan tingkat prioritas dari beraneka masalah yang akan dipecahkan. Dengan memakai diagram pareto dapat terlihat masalah mana yang dominan dan tentunya kita dapat mengetahui prioritas penyelesaian masalahnya, yang menjadi kriteria dan pertimbangan dalam menentukan diagram pareto ini adalah frekuensi kerusakan yang terjadi pada komponen mesin.

2.3. Reliability

Reability adalah peluang sebuah komponen mesin atau produk akan berfungsi dengan benar selama waktu tertentu dengan kondisi tertentu. Taktik keandalan adalah:

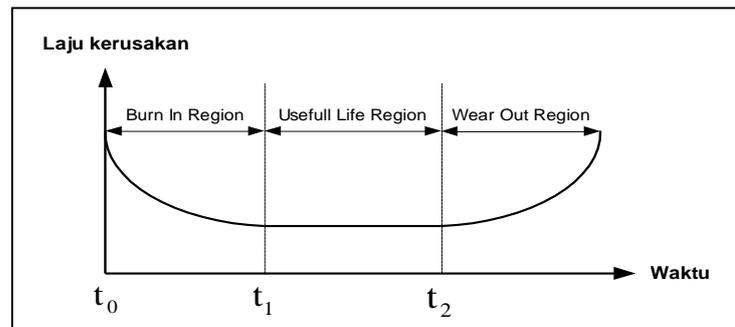
- a. Meningkatkan komponen individual
- b. Memberikan *redundancy*

Tujuan pemeliharaan dan keandalan adalah untuk mempertahankan kemampuan sistem, selagi mengendalikan biaya. Strategi Pemeliharaan dan Keandalan yang baik membutuhkan keterlibatan karyawan dan prosedur yang baik.

2.4. Laju Kerusakan dan Umur Produk

Laju kerusakan adalah salah satu faktor yang perlu diperhatikan untuk menganalisa kerusakan komponen pada tiap komponen mesin. Laju kerusakan juga sangat penting diketahui karena merupakan dasar dari teknik perawatan (*Maintenance*) dan teknik keandalan (*Reliability*). Laju kerusakan dari tiap mesin pasti berbeda dan

akan berubah setiap waktu. Menurut Jardine (1973) laju kerusakan suatu produk mengikuti suatu pola dasar yang disebut kurva *bathub*. Gambar 2.1 Berikut merupakan gambar laju kerusakan yang terbagi atas 3 fase seperti di bawah ini :



Gambar 2.1. Laju Kerusakan

Berikut merupakan karakteristik dari laju kerusakan suatu alat atau mesin.

a) Fase A kerusakan awal (*early failure* atau *infant mortality*)

Pada fase ini, penggunaan awal mesin menjadi tanda bahwa laju kerusakan (*hazard rate*) suatu sistem mengalami penurunan. Fase ini sering disebut *burn in region*; *debugging region* atau *break in region*. Fase ini dimulai dari t_0 sampai t_1 . Fase ini memperlihatkan terjadinya kerusakan dini (*early failure*) yang menurun hingga titik t_1 . Kemungkinan terjadinya kerusakan pada saat ini akan lebih besar dibanding pada saat yang akan datang.

b) Fase B Kerusakan acak (*failure random in time*)

Pada fase ini laju kerusakan yang diperlihatkan cenderung stabil, ini dimulai dari t_1 sampai t_2 biasa disebut *usefull life*. Penyebab kerusakan yang terjadi pada fase ini biasanya adalah pemberian beban kerja yang melebihi batas kemampuan komponen atau kondisi ekstrim lainnya.

c) Fase C Pengoperasian melebihi umur komponen (*wear out operation*)

Dikarenakan waktu penggunaan sudah melebihi batas umur komponen (*wear out*), maka pada fase ini laju kerusakan menunjukkan grafik yang cenderung meningkat dan terjadi pada t_2 hingga seterusnya. Pergantian atau perawatan

komponen memang sudah dilakukan pada titik t_1 atau t_2 tetapi permasalahannya adalah sulitnya mencari waktu yang tepat untuk melakukan kegiatan tersebut sehingga tidak optimalnya pembaruan yang telah dilakukan itu.

.Ada beberapa cara yang dilakukan untuk menganalisis kerusakan, antara lain :

a) Cara Teknik

Cara ini dilakukan dengan menentukan sebab-sebab terjadinya kerusakan pada alat berdasarkan aspek-aspek teknis dari peralatan.

b) Cara Statistik

Menganalisis kerusakan dengan cara menentukan hubungan antara laju kerusakan alat dengan waktu. Cara ini biasa menggunakan histogram frekuensi relatif dengan mencatat *Time To Failure* sepanjang pengoperasian sistem.

$$r_{(ti)} = \frac{(n+0.4)}{(i-1+0.7)} \quad (2.1.)$$

Dimana

r_{ti} adalah laju kerusakan

i adalah data ke- i

n adalah jumlah data

2.5. Identifikasi Distribusi Awal

Uji Kolmogorov-Smirnov digunakan untuk memeriksa apakah data hasil *sampling* tertentu berasal dari suatu populasi dengan distribusi peluang teoretis tertentu. Distribusi peluang teoretis yang dimaksud di sini adalah sembarang distribusi peluang teoretis yang kontinu, seperti distribusi normal, distribusi eksponensial, distribusi Weibull, distribusi gamma, dan sebagainya. Dalam penelitian ini pengujian uji Kolmogorov-Smirnov dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui data berdistribusi Weibull. Pengujian ini dilakukan menggunakan uji statistik yaitu uji distribusi non parametrik Kolmogorov-Smirnov.

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.

Beberapa fungsi yang ada pada distribusi normal adalah sebagai berikut (Jardine, 1973):

a) Fungsi keandalan

$$R(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_1^{\infty} \exp\left[-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (2.2)$$

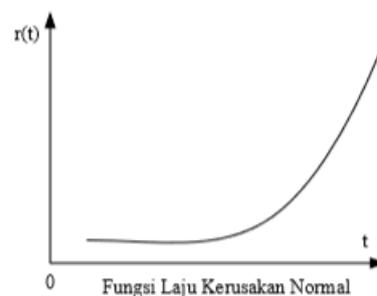
Dimana =

$R(t)$ adalah Fungsi Keandalan

μ adalah parameter distribusi yang menunjukkan rata-rata waktu antar kerusakan

σ adalah parameter distribusi yang menunjukkan standar deviasi

Kurva fungsi keandalan dapat dilihat pada gambar dibawah.



Gambar 2.2. Kurva Fungsi Keandalan Normal

b) Fungsi laju kerusakan

$$r(t) = \frac{\exp\left[\frac{(-t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]}{\int_1^{\infty} \exp\left[\frac{(-t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] dt} \quad (2.3)$$

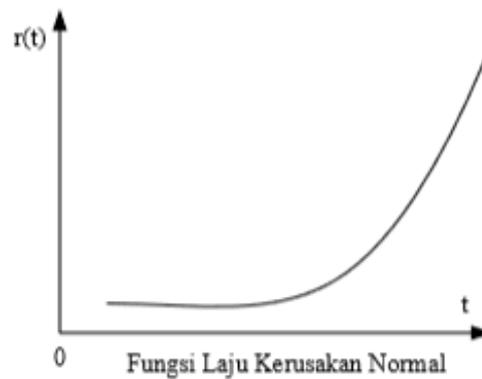
Dimana =

$r(t)$ adalah laju kerusakan

μ adalah parameter distribusi yang menunjukkan rata rata waktu antar kerusakan

σ adalah parameter distribusi yang menunjukkan standar deviasi

Kurva laju kerusakan dapat dilihat pada gambar dibawah.



Gambar 2.3. Kurva Fungsi Laju Kerusakan Normal

c) Fungsi kepadatan kerusakan

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (2.4)$$

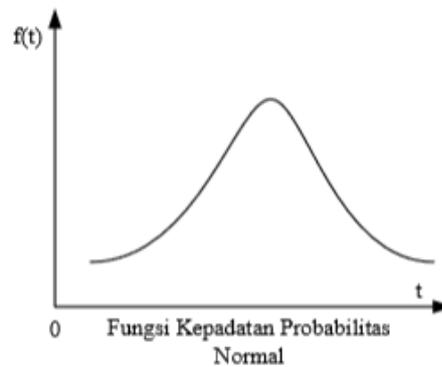
Dimana =

$R(t)$ adalah Fungsi kepadatan kerusakan

μ adalah parameter distribusi yang menunjukkan rata rata waktu antar kerusakan

σ adalah parameter distribusi yang menunjukkan standar deviasi

Kurva laju kerusakan dapat dilihat pada gambar dibawah.



Gambar 2.4. Kurva Fungsi Kepadatan Kerusakan Normal

d) Fungsi distribusi kumulatif

$$R(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t \exp\left[-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (2.5)$$

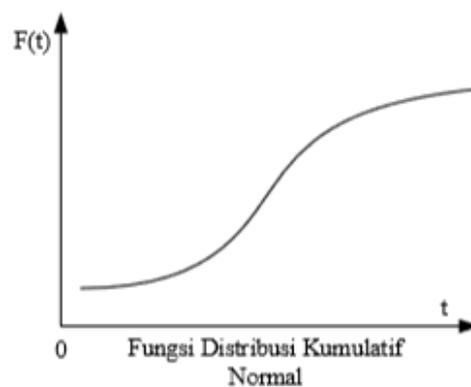
Dimana =

$R(t)$ adalah fungsi distribusi kumulatif

μ adalah parameter distribusi yang menunjukkan rata rata waktu antar kerusakan

σ adalah parameter distribusi yang menunjukkan standar deviasi

Kurva laju kerusakan dapat dilihat pada gambar dibawah.



Gambar 2.5. Kurva Fungsi Distribusi Kumulatif Normal

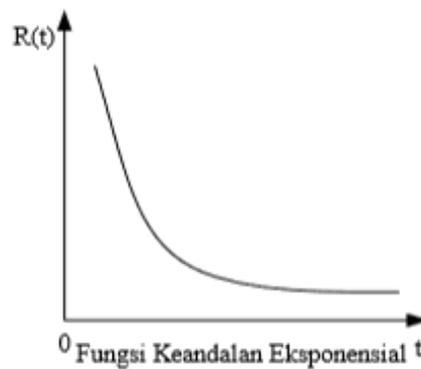
2.6.2. Distribusi Eksponensial

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, 1973):

a) Fungsi keandalan

Kurva fungsi keandalan dapat dilihat pada gambar 2.6. dibawah ini:



Gambar 2.6. Kurva Fungsi Keandalan Eksponensial

$$\begin{aligned}
 R(t) &= 1 - F(t) \\
 &= 1 - (1 - \exp[-(\beta t)]) \\
 &= (1 - \exp[-(\beta t)])
 \end{aligned}
 \tag{2.6}$$

Dimana:

$R(t)$ adalah fungsi keandalan

$F(t)$ adalah fungsi distribusi kumulatif

t adalah periode atau waktu kerusakan

β adalah rata-rata kerusakan

b) Fungsi laju kerusakan

$$r(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \beta = \frac{1}{\theta}
 \tag{2.7}$$

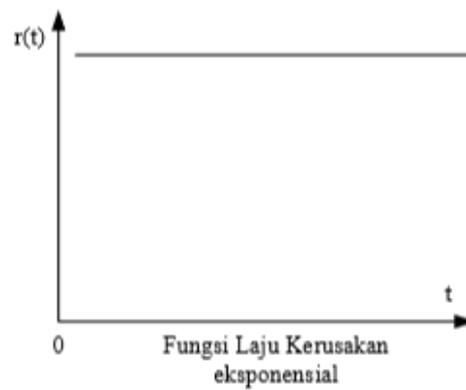
Dimana:

$f(t)$ adalah fungsi kepadatan kerusakan

$R(t)$ adalah fungsi keandalan

β adalah rata-rata kerusakan

Kurva laju kerusakan dapat dilihat pada gambar 2.7. dibawah ini:



Gambar 2.7. Kurva Fungsi Laju Kerusakan Eksponensial

c) Fungsi kepadatan kerusakan

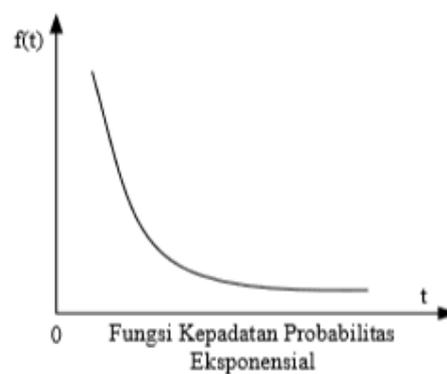
$$f(t) = \beta \exp[-(\beta t)] \quad (2.8)$$

Dimana:

β adalah rata-rata kerusakan

t adalah periode atau waktu kerusakan

Kurva laju kerusakan dapat dilihat pada gambar 2.8. dibawah ini:



Gambar 2.8. Kurva Fungsi Kepadatan Kerusakan Eksponensial

d) Fungsi distribusi kumulatif

$$\begin{aligned}
 R(t) &= \int_0^1 f(t) dt \\
 &= \int_0^1 \beta \exp[-(\beta t)] \\
 &= 1 - \beta \exp[-(\beta t)]
 \end{aligned} \tag{2.9}$$

Dimana:

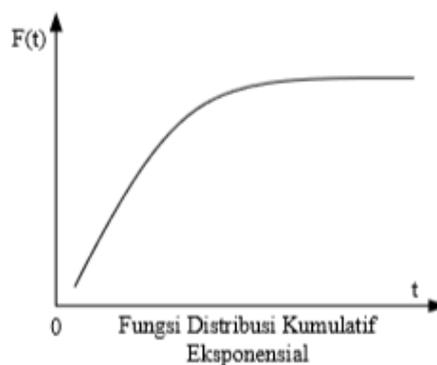
$r(t)$ adalah fungsi distribusi kumulatif

$f(t)$ adalah fungsi kepadatan kerusakan

β adalah rata-rata kerusakan

t adalah periode atau waktu kerusakan

Kurva laju kerusakan dapat dilihat pada gambar dibawah.



Gambar 2.9. Kurva Fungsi Distribusi Kumulatif Ekspensial

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, 1973):

a) Fungsi keandalan

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta\right] \tag{2.10}$$

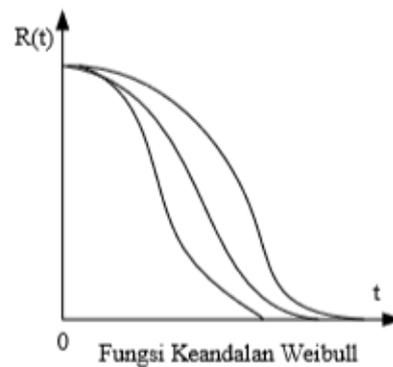
Dimana:

t adalah periode atau waktu kerusakan

α adalah parameter skala

β adalah parameter bentuk

Kurva fungsi keandalan dapat dilihat pada gambar dibawah.



Gambar 2.10. Kurva Fungsi Keandalan Weibull

b) Fungsi laju kerusakan

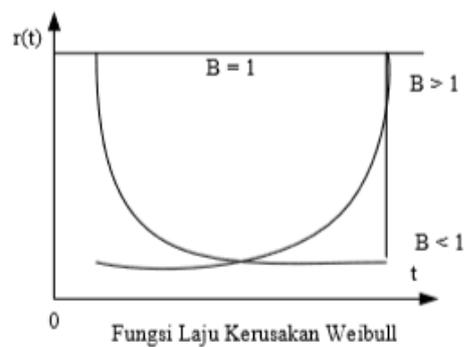
$$r(t) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta-1} \quad (2.11)$$

Dimana:

α adalah parameter skala

β adalah parameter bentuk

Kurva laju kerusakan dapat dilihat pada gambar dibawah.



Gambar 2.11. Kurva Fungsi Laju Kerusakan Weibull

c) Fungsi kepadatan kerusakan

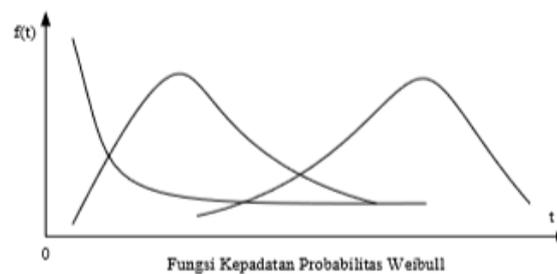
$$f(t) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta\right] \quad (2.12)$$

Dimana:

α adalah parameter skala

β adalah parameter bentuk

Kurva laju kerusakan dapat dilihat pada gambar dibawah.



Gambar 2.12. Kurva Fungsi Kepadatan Kerusakan Weibull

d) Fungsi distribusi kumulatif

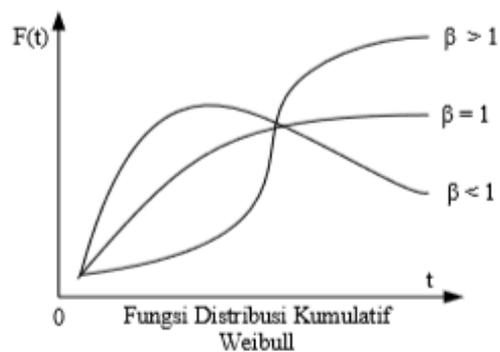
$$R(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta\right] \quad (2.13)$$

Dimana:

α adalah parameter skala

β adalah parameter bentuk

Kurva laju kerusakan dapat dilihat pada gambar dibawah.



Gambar 2.13. Kurva Fungsi Distribusi Kumulatif Eksponensial

2.7. Estimasi Paramater

Setelah diketahui data kerusakan mengikuti distribusi *weibull* , maka dilakukan estimasi parameter, yaitu mencari estimasi nilai θ (parameter skala) dan β (parameter bentuk). Untuk perhitungan estimasi parameter, metode yang digunakan adalah dengan pendekatan regresi linier. Dalam persamaan regresi linier akan didapatkan koefisien-koefisien regresi yaitu a dan b , maka kemudian dapat dicari distribusi parameter θ dan β . Perhitungan parameter distribusi Weibull dilakukan dengan menggunakan rumus:

$$\alpha = \exp(a) \quad (2.14)$$

$$\beta = \frac{1}{b} \quad (2.15)$$

Dimana :

α adalah parameter skala

β adalah parameter bentuk

2.8. Perhitungan Mean Time To Failure (MTTF)

Perhitungan Mean Time to Failure (MTTF) dilakukan untuk mengetahui waktu rata-rata antar kerusakan yaitu komponen selesai diperbaiki sampai komponen rusak kembali. Perhitungan Mean Time to Repair (MTTR) dilakukan untuk mengetahui waktu rata-rata yang diperlukan dalam kegiatan penggantian komponen. Setelah parameter dari distribusi *weibull* diketahui, maka nilai MTTF dapat dihitung. Nilai MTTF merupakan nilai yang menunjukkan selang waktu dari waktu part/komponen mulai digunakan sampai part/komponen mengalami kerusakan. Oleh karena itu, nilai MTTF dapat digunakan sebagai perkiraan umur hidup part/komponen. Perhitungan untuk nilai MTTF yaitu

$$MTTF = \alpha \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \quad (2.16)$$

Dimana :

α adalah parameter skala

β adalah parameter bentuk

Nilai Γ diperoleh berdasarkan tabel gamma

2.9. Model Penggantian *Preventive*

Memodelkan penggantian pencegahan dilakukan untuk menentukan interval waktu yang terbaik dalam melakukan pergantian komponen sehingga didapatkan ongkos yang minimal. Dalam menentukan model penggantian pencegahan dengan kategori minimasi ongkos penggantian, harus diketahui variabel-variabel ongkos seperti berikut:

$$1. \text{ BTP} = \text{Jumlah tenaga kerja} \times \text{Upah} \times \text{waktu perawatan} \quad (2.17)$$

$$2. \text{ Cp} = \text{Biaya pembelian} + \text{Beban teknisi perawatan} \quad (2.18)$$

$$3. \text{ BTG} = \text{Jumlah tenaga kerja} \times \text{Upah} \times \text{waktu pergantian} \quad (2.19)$$

$$4. \text{ Cf} = \text{Biaya pembelian} + \text{Beban teknisi pergantian} \quad (2.20)$$

Dimana

BTP adalah beban teknisi perawatan

BTG adalah beban teknisi pergantian

Cp adalah ongkos perawatan

Cf adalah ongkos pergantian

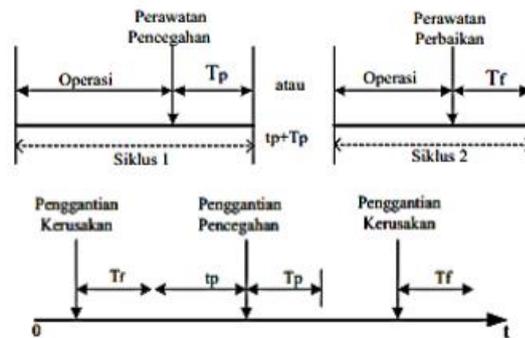
2.9.1. Model *Age Replacement*

Model *age replacement* 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 *age replacement* cocok diterapkan untuk komponen yang interval waktu pengantiannya relative tidak mempengaruhi komponen lainnya. Model penggantian *age replacement* hanya mengganti komponen yang rusak. Jika dalam satu group ada komponen yang rusak maka hanya komponen rusak yang diganti.

Model *age replacement* memiliki dua siklus penggantian pencegahan, sebagai berikut:

- a) Siklus pencegahan, komponen diganti karena telah mencapai umur penggantian yang sesuai rencana.

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



Gambar 2.14. Model *Age Replacement* (Jardine, 1973)

Model *age replacement* yang dijelaskan pada penjelasan diatas dapat dilihat pada gambar 2.14. Rumus dari model *age replacement*, sebagai berikut:

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

Dimana:

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

$$C_{(tp)} = \frac{(Cp \times R_{(tp)}) + (Cf \times [1 - R_{(tp)}])}{((tp + Tp) \times R_{(tp)}) + ((M_{(tp)} + Tf) \times [1 - R_{(tp)}])} \quad (2.21)$$

- Dimana :
- a. Cf adalah ongkos penggantian kerusakan
 - b. Cp adalah ongkos penggantian pencegahan
 - c. Tf adalah waktu penggantian kerusakan
 - d. Tp adalah waktu penggantian pencegahan
 - e. tp adalah interval waktu penggantian