

Bab 2

Tinjauan Pustaka

2.1. Perawatan

2.1.1. Definisi Perawatan

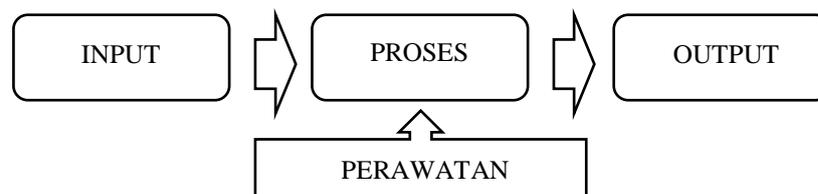
“Perawatan atau yang lebih dikenal dengan kata *maintenance* dapat didefinisikan sebagai suatu aktivitas yang diperlukan untuk menjaga atau mempertahankan kualitas pemeliharaan suatu fasilitas agar fasilitas tersebut tetap dapat berfungsi dengan baik dalam kondisi siap pakai. (Sudrajat, 2011,2).”

Menurut Sofyan Assauri (1993), perawatan merupakan suatu aktivitas untuk memelihara atau merawat fasilitas produksi dan proses pengadaan perbaikan fasilitas produksi untuk meningkatkan kinerja mesin sesuai dengan yang diharapkan. Peranan dari divisi perawatan pada perusahaan tidak hanya menjaga kondisi perusahaan dapat berjalan dengan baik, produk dapat diproduksi dan aktivitas *shipping* tepat waktu ke tangan konsumen, akan tetapi berperan menjaga kelangsungan proses produksi dengan efisien untuk mengurangi kerusakan yang dihasilkan oleh fasilitas perusahaan terutama pada mesin.

2.1.2. Peranan Perawatan

Menurut Sudrajat (2011), hasil dari suatu proses yang dilakukan baik secara terputus-putus maupun berkesinambungan dalam suatu industri akan menghasilkan suatu produk. Proses tersebut akan membentuk suatu sistem yang terkait satu sama lain yang sering disebut sebagai sistem produksi. Dalam suatu sistem produksi terkandung tiga hal penting yaitu masukan (input), proses (operasi) dan keluaran (*output*). Dalam memenuhi *output* yang diinginkan, hal umum yang dilakukan perusahaan adalah memastikan fasilitas pada departemen produksi dapat digunakan dengan optimal, sehingga kegiatan produksi dapat berjalan dengan lancar. Dalam menjaga kelancaran sistem produksi pada perusahaan tersebut dibutuhkan suatu kegiatan perawatan.

Dalam suatu sistem produksi peranan kegiatan perawatan tidak hanya untuk menjaga agar sistem dapat bekerja, namun produk yang dihasilkan dapat didistribusikan kepada konsumen secara tepat waktu dengan kualitas yang diharapkan. Peranan perawatan juga berguna untuk mengurangi kemacetan-kemacetan kecil, sehingga sistem dapat bekerja dengan efisien. Jadi, peranan perawatan dalam sistem produksi sangat penting, yakni menyangkut kelancaran produksi, kelambatan, kualitas, volume produksi serta efisiensi produksi. Hubungan perawatan dengan sistem produksi pada peranan perawatan itu sendiri dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Peran perawatan dalam sistem produksi
(Sudrajat, 2011)

Berdasarkan uraian diatas dapat disimpulkan peranan perawatan dalam sistem produksi yang terbagi menjadi 6 (enam) poin, yaitu:

1. Fungsi perawatan berkaitan dengan proses produksi.
2. Kedudukan perawatan dalam proses produksi adalah sebagai pendukung.
3. Peralatan produksi yang dapat digunakan secara terus menerus merupakan hasil dari sebuah perawatan.
4. Aktivitas perawatan tidak terlepas dari peralatan, mesin dan fasilitas lain.
5. Aktivitas perawatan harus selalu dalam kontrol.
6. Perawatan umumnya diperlukan saat batas kualitas fasilitas telah mencapai kondisi terendah dan lamanya pemakaian fasilitas (umur pakai).

2.1.3. Tujuan Perawatan

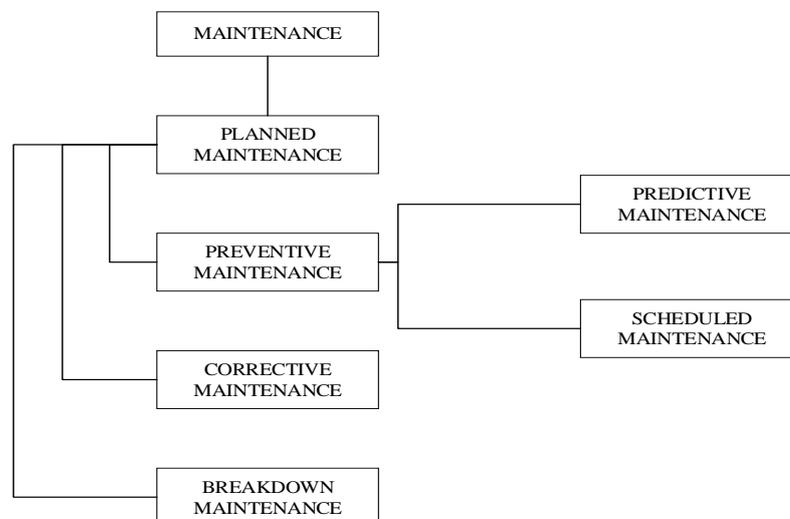
Menurut Sudrajat (2011), perkembangan industri yang terjadi secara terus menerus mengakibatkan mesin-mesin produksi melakukan serangkaian tugas yang panjang

dan kompleks, artinya dituntut adanya pelaksanaan perawatan yang baik dan terarah. Perawatan ini lebih diarahkan untuk menjaga kesinambungan sistem, sehingga produktivitas sistem semakin meningkat. Secara umum tujuan perawatan adalah:

1. Menjamin ketersediaan, keandalan mesin dan peralatan secara ekonomis maupun teknis, sehingga dapat digunakan seoptimal mungkin.
2. Memperpanjang usia pakai mesin dan peralatan.
3. Menjamin kesiapan operasional mesin dalam keadaan darurat.
4. Menjamin keselamatan kerja dan keamanan penggunaan mesin dan peralatan.

2.1.4. Bentuk Kebijakan Perawatan

Menurut Sudrajat (2011), pola dan sistem perawatan telah berkembang pesat dan membawa kelebihan dan kekurangan. Sehingga perlu dilakukan pemilihan pola dan sistem yang tepat untuk diterapkan sesuai dengan keadaan dan karakteristik mesin atau peralatan yang digunakan. Dalam pelaksanaannya, dunia industri mengenal dua kebijakan dari perawatan yang umum dikenal, yaitu perawatan kerusakan (*corrective maintenance*) dan perawatan pencegahan (*preventive maintenance*). Bentuk kebijakan perawatan dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Bentuk kebijakan perawatan
(Sudrajat, 2011)

Berikut merupakan penjelasan bentuk kebijakan perawatan yang terdapat pada Gambar 2.2 adalah sebagai berikut:

1. *Breakdown Maintenance*

Breakdown maintenance merupakan kebijakan perawatan yang dilakukan dengan cara mengoperasikan mesin atau peralatan hingga rusak, kemudian baru diperbaiki atau diganti. Kebijakan ini kurang cocok untuk mesin atau peralatan yang memiliki tingkat kritis tinggi atau memiliki harga yang mahal melainkan hanya sesuai dengan mesin atau peralatan sederhana yang tidak memerlukan perawatan terus menerus. Keuntungan dari kebijakan ini adalah biayanya murah dan tidak perlu melakukan perawatan dan cocok untuk mesin atau peralatan yang murah dan sederhana. Sedangkan kerugiannya adalah kasar dan berbahaya, menimbulkan kerugian yang besar bila dilakukan pada mesin yang mahal dan kompleks, tidak dapat menyiapkan sumber daya manusia.

2. *Preventive Maintenance*

Preventive Maintenance merupakan kebijakan perawatan yang dilakukan sebelum terjadinya kerusakan pada mesin atau peralatan. Keuntungan kebijakan ini diantaranya adalah menjamin keandalan dari sistem tersebut, menjamin keselamatan bagi operator, memperpanjang umur mesin, mengurangi *downtime*. Sedangkan kerugian kebijakan ini diantaranya adalah waktu operasi semakin panjang, kemungkinan terjadi kesalahan operator pada proses perakitan atau lainnya.

3. *Scheduled Maintenance*

Scheduled Maintenance merupakan bagian dari *Preventive Maintenance*. Perawatan ini bertujuan mencegah terjadi kerusakan dan perawatannya dilakukan secara terus menerus dalam waktu tertentu. Strategi perawatan ini sering disebut juga sebagai perawatan berdasarkan waktu. Kelebihan dari kebijakan ini adalah dapat mencegah mesin berhenti secara tiba-tiba. Kekurangan dari kebijakan ini adalah apabila rentang waktu perawatan terlalu pendek, maka akan mengganggu aktivitas produksi dan dapat meningkatkan

kesalahan teknisi pada saat memasang kembali komponen yang diperbaiki serta kemungkinan adanya debu atau *scrap* mesin dan produk yang masuk kedalam sistem tersebut. Apabila rentang waktu terlalu panjang, adanya kemungkinan mesin mengalami kerusakan sebelum waktu perawatan, sehingga menimbulkan kerugian.

4. *Predictive Maintenance*

Predictive Maintenance ini merupakan bagian dari perawatan pencegahan. Perawatan ini merupakan kebijakan perawatan yang dilakukan berdasarkan kondisi mesin atau peralatan yang digunakan. Perawatan ini disebut juga perawatan berdasarkan kondisi (*condition based maintenance*) atau juga disebut monitoring kondisi mesin. Artinya sebagai pemantauan kondisi mesin dengan cara memeriksa mesin secara berkala. Sehingga dapat diketahui keandalan mesin atau peralatan serta keselamatan kerja operator maupun teknisi dapat terjamin.

2.2. Total Productive Maintenance

Menurut Jardine (2013) *Total Productive Maintenance* (TPM) merupakan yang berpusat pada manusia dan telah terbukti efektif untuk mengoptimalkan keefektifan serta menghilangkan kerusakan suatu mesin atau peralatan. TPM juga memiliki fungsi memobilisasi operator untuk ikut berperan aktif dalam melakukan perawatan (*maintenance*) pada mesin atau peralatan dengan cara melatih dan membina para operator. Para operator diharapkan memiliki rasa memiliki akan mesin atau peralatan yang mereka operasikan. Sehingga dengan cara ini dapat memperbesar tanggung jawab pekerjaan mereka untuk melakukan perbaikan rutin dan perbaikan kecil pada mesin-mesin yang mereka operasikan.

TPM bertujuan untuk menghilangkan *six big losses* yang ada pada mesin atau peralatan dengan melihat pada tingkat keefektifannya. Pada sektor manufaktur, sekitar 15% hingga 40% dari total biaya manufaktur merupakan bagian dari perawatan. Setidaknya 30% dari biaya ini dapat dihilangkan dengan menggunakan TPM.

Agar mencapai *zero breakdown*, kerusakan-kerusakan tersembunyi ataupun kecil harus segera diidentifikasi dan dikoreksi sebelum memburuk dan menyebabkan mesin mati (tidak dapat berproduksi). Hal ini dapat dicapai dengan mempertahankan mesin atau peralatan pada kondisi awal melalui pembersihan yang tepat dan pelumasan yang efektif, perbaikan kondisi dari bagian yang rusak, meningkatkan operasi, pengaturan, serta inspeksi rutin yang dilakukan oleh operator.

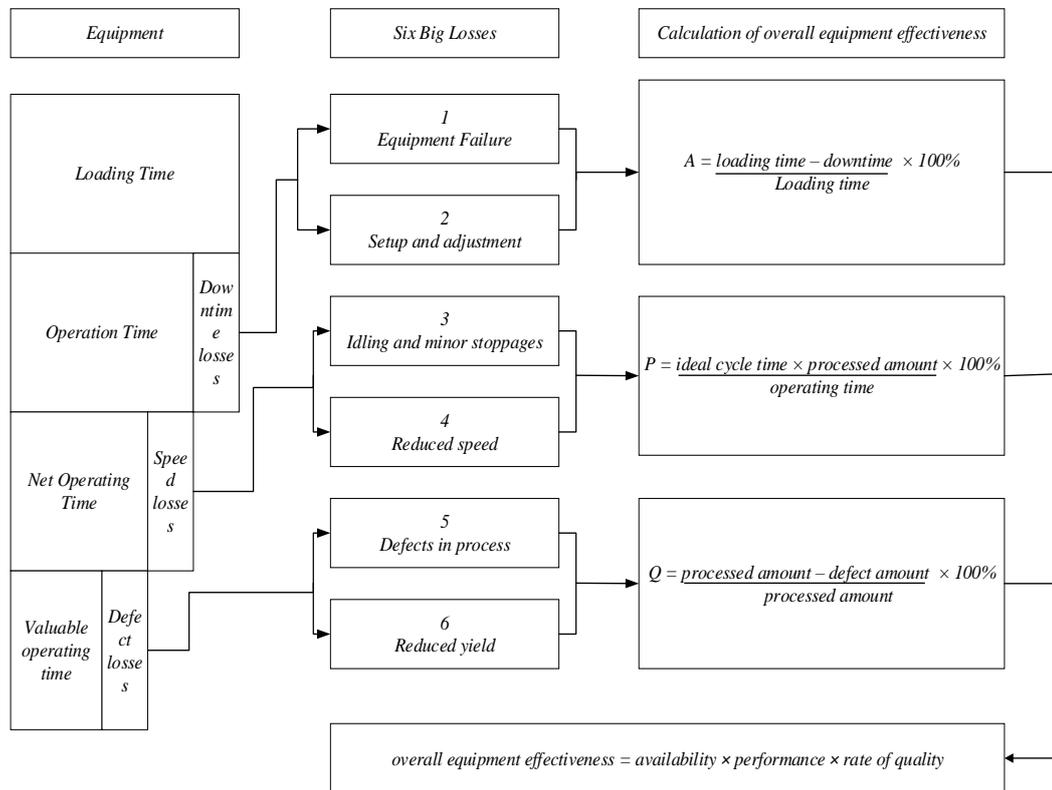
Secara tradisional, tugas-tugas ini berada diluar tanggung jawab operator mesin atau peralatan, dimana peran utamanya adalah hanya mengoperasikan mesin atau peralatan. Ketika mesin atau peralatan mengalami kerusakan, tugas operator adalah menghubungi teknisi dan meminta untuk memperbaikinya. TPM melibatkan operator mesin untuk melakukan pemeliharaan mesin atau peralatan (*autonomous maintenance*), dimana operator mesin dapat melakukan pemeriksaan rutin, servis sederhana dan perbaikan kecil (mengencangkan baut, membersihkan oli, dsb)

2.3. Overall Equipment Effectiveness

Pada umumnya perusahaan manufaktur mendefinisikan *Overall Equipment Effectiveness* atau yang disingkat OEE sebagai konsep yang dikenal secara luas dalam program perawatan dan sebuah metode yang sistematis untuk mengukur efektivitas suatu peralatan (Yuni dan Wahyudi, 2008).

Metode OEE digunakan untuk mengukur efektivitas dari kinerja suatu mesin dan peralatan secara keseluruhan dalam melakukan suatu aktivitas pekerjaan yang telah dijadwalkan. Adapun hal yang diukur merupakan data aktual yang berhubungan dengan *availability*, *performance* dan *quality of product*. Informasi yang diperoleh dari hasil pengukuran OEE digunakan untuk mengidentifikasi dan mengklasifikasikan sebab-sebab dari rendahnya kinerja suatu mesin atau peralatan. Nilai OEE sering dijadikan sebagai ukuran pada *Total Productive Maintenance* dalam rangka peningkatan efisiensi suatu mesin atau peralatan berdasarkan hasil analisis penyebab kerugian.

Berikut merupakan hubungan antara *Overall Equipment Effectiveness* dengan tujuannya yang dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Hubungan OEE dan tujuannya
(Nakajima, 1988)

Menurut Borris (2006) untuk meningkatkan keuntungan dan efek positif *Total Productive Maintenance* pada sistem produksi, perusahaan harus mengeliminasi kesalahan-kesalahan yang secara langsung berefek pada tiga faktor kunci yaitu *Availability*, *Performance* dan *Rate of Quality*. Ketiga faktor diatas merupakan bagian dari OEE yang merupakan faktor kunci pada sistem produksi. Selain masalah keamanan, masalah yang terjadi dan berdampak negatif pada OEE harus diprioritaskan terlebih dahulu. Prioritas yang harus dilakukan adalah dengan mencari tahu penyebab *downtime* terbesar pada tingkat produksi maupun pada hasil produksi (kualitas produk). Selain itu sebaiknya perusahaan tidak mengabaikan kerugian-kerugian kecil, karena perusahaan cenderung melakukannya. Perusahaan perlu melakukan pemantauan rutin terhadap riwayat mesin atau peralatan dan

menemukan faktor yang menyebabkan mesin atau peralatan tersebut mengalami kerugian yang sama. Berikut merupakan penjelasan ketiga faktor kunci yang berpengaruh dalam pengukuran OEE, yaitu:

1. *Availability*

Alfred, Mas'ud dan Usman (2014) berpendapat bahwa *availability* merupakan suatu perbandingan yang menggambarkan pemanfaatan waktu yang tersedia untuk melakukan aktivitas produksi dengan menggunakan mesin atau peralatan. Nilai *availability* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Nakajima, 1988):

$$Availability = \frac{Operation\ time}{Loading\ time} \times 100\% \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana:

- a. *Operation time* merupakan hasil pengurangan antara waktu *loading time* dengan waktu *downtime* (kerusakan) mesin. *Operation time* merupakan waktu pengerjaan produk (Menit)
- b. *Loading time* merupakan waktu yang digunakan pada saat berproduksi pada satu satuan waktu tertentu. Hasil *loading time* diperoleh dari pengurangan *machine work time* (jam kerja mesin per hari, per bulan atau per tahun) dengan *planned downtime* (waktu *downtime* yang telah direncanakan). (Menit)

2. *Performance*

Alfred, Mas'ud dan Usman (2014) berpendapat bahwa *performance* merupakan suatu perbandingan yang menunjukkan suatu kemampuan atau performansi mesin untuk menghasilkan produk. Nilai *performance* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Nakajima, 1988):

$$Performance = \frac{processed\ amount \times ideal\ cycle\ time}{operation\ time} \times 100\% \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana:

- a. *Processed amount* merupakan jumlah produksi yang dihasilkan oleh mesin. (renceng)
- b. *Ideal cycle time* merupakan waktu siklus ideal untuk menghasilkan produk (renceng/menit).
- c. *Operation time* pada mesin *Filling Korin* yang digunakan adalah hasil pengurangan antara *loading time* dengan *downtime*. (menit)

3. *Rate of Quality*

Alfred, Mas'ud dan Usman (2014) berpendapat *rate of quality* merupakan suatu perbandingan yang menggambarkan kemampuan mesin dalam menghasilkan produk sesuai dengan standar perusahaan. Nilai *rate of quality* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Nakajima, 1988):

$$\text{Rate of Quality} = \frac{\text{Processed amount} - \text{Defect amount}}{\text{Processed amount}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana:

- a. *Processed amount* merupakan jumlah produksi yang dihasilkan oleh mesin.
- b. *Defect amount* merupakan jumlah produksi yang mengalami cacat produk.

Perhitungan nilai *Overall Equipment Effectiveness* menggunakan persamaan berikut (Nakajima, 1988):

$$OEE = \text{Availability} \times \text{Performance} \times \text{Rate of Quality} \dots \dots \dots (2.4)$$

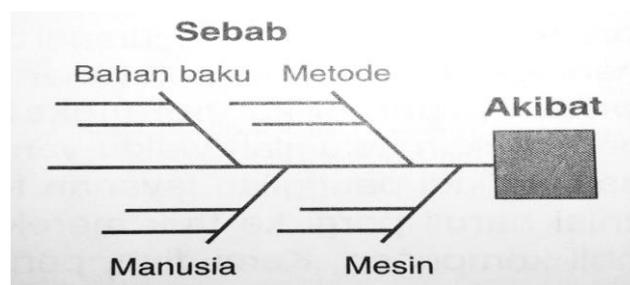
Menurut Nakajima (1988) kondisi ideal berdasarkan pengalaman yang dimiliki oleh Nakajima antara lain adalah:

1. Nilai *Availability* > 90%
2. Nilai *Performance* > 95%
3. Nilai *Rate of Quality* > 99%

Dari hasil perkalian antara nilai *availability*, *performance* dan *rate of quality* diperoleh hasil 85 + %. Artinya nilai ideal *Overall Equipment Effectiveness* yang ditetapkan seharusnya lebih besar dari 85%.

2.4. Fishbone Diagram

Diagram *fishbone* merupakan sebuah teknik skematik yang digunakan untuk mengetahui letak-letak masalah kualitas yang mungkin menjadi penyebab dari timbulnya masalah (Heizer dan Render, 2009). Terdapat empat kategori umum yang digunakan dalam membuat diagram ini yaitu manusia, material, mesin dan metode atau yang sering disebut sebagai 4M. Keempat kategori tersebut memberikan suatu daftar penyebab -penyebab yang terjadi guna melakukan tahap analisis awal. Setiap penyebab dikaitkan pada setiap kategori yang disatukan dalam tulang terpisah sepanjang cabang tersebut, seringkali untuk menentukan penyebab tersebut dilakukan melalui proses diskusi terlebih dahulu. Diagram *fishbone* dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. *Fishbone diagram*
(Heizer dan Render, 2009)

2.5. Diagram Pareto

Menurut Heizer dan Render (2009) Diagram Pareto merupakan suatu diagram yang digunakan untuk mengelola kesalahan atau cacat guna membantu memfokuskan perhatian untuk penyelesaian sebuah kesalahan atau cacat. Joseph M. Juran mempopulerkan pekerjaan Pareto dengan menyatakan bahwa sebuah permasalahan pada perusahaan atau kelompok yang memiliki 80% permasalahan disebabkan oleh 20% dari penyebabnya saja. Diagram pareto merupakan grafik yang

menggambarkan hasil identifikasi kesalahan atau cacat dengan urutan frekuensi kesalahan atau cacat yang menurun. Kegunaan dari diagram pareto adalah mampu menunjukkan kesalahan atau cacat yang dominan sehingga dapat ditentukan prioritas penyelesaiannya.

2.6. Reliabilitas

Reliabilitas atau keandalan merupakan adalah peluang suatu item, komponen, subsistem, sistem yang dianggap dalam satu kesatuan dari mesin maupun produk untuk dapat berfungsi dengan baik pada kondisi pengoperasian dalam lingkungan tertentu untuk waktu yang telah ditentukan. Menurut Kurniawan (2013) Konsep reliabilitas dapat dilibatkan dengan konsep statistik. Melalui pengukuran reliabilitas, perusahaan atau kelompok dapat memiliki gambaran terhadap kondisi mesin atau peralatan yang dimiliki, sehingga mampu memprediksi perilaku yang tepat untuk mesin atau peralatan tersebut.

2.7. Laju Kerusakan dan Umur Produk

Laju kerusakan adalah salah satu faktor yang perlu diperhatikan untuk menganalisa kerusakan komponen atau item pada mesin dan peralatan. Laju kerusakan dari setiap mesin ataupun peralatan adalah berbeda dan akan mengalami perubahan dari waktu ke waktu. Menurut Jardine (1973) laju kerusakan suatu mesin atau produk mengikuti suatu pola dasar yang disebut dengan kurva *bathub*. Berikut merupakan karakteristik fungsi dari laju kerusakan suatu mesin atau peralatan sesuai dengan konsep *bathub*.

a) Fase 1 : Kerusakan awal (*early failure* atau *infant mortality*)

Pada fase ini kerusakan terjadi di setiap awal operasi (t_0) dan fase ini dimulai dari t_0 hingga t_1 . Kerusakan ini terjadi saat mesin atau peralatan baru saja dijalankan. Peluang terjadinya kerusakan pada saat awal akan lebih besar dibandingkan pada saat yang akan datang. Komponen yang berada pada fase A mempunyai tiga fungsi kepadatan probabilitas yaitu *gamma*, hiperekspensial dan weibull.

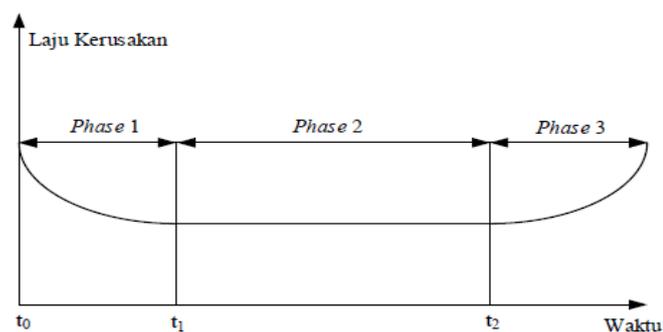
b) Fase 2 : Kerusakan acak (*failure random in time*)

Pada fase ini laju kerusakan yang terjadi cenderung stabil dan fase ini dimulai dari t_1 sampai t_2 atau biasa disebut dengan *usefull life*. Peluang terjadinya laju kerusakan pada saat ini cenderung rendah. Komponen pada fase ini memiliki fungsi kepadatan probabilitas eksponensial atau weibull.

c) Fase 3 : Pengoperasian melebihi umur komponen (*wear out operation*)

Pada fase ini terjadi penurunan performansi komponen atau item pada sebuah mesin, peralatan atau produk karena memiliki kecenderungan laju kerusakan yang tertinggi atau sering timbul kerusakan. Hal ini disebabkan karena penggunaan mesin, peralatan atau produk telah melewati batas umur teknisnya (*wear out*). Pada fase ini laju kerusakan yang terjadi cenderung meningkat dan dimulai pada t_2 hingga seterusnya.

Berikut merupakan gambar laju kerusakan sesuai dengan karakteristik fungsi laju kerusakan tiga fase yang dapat dilihat pada Gambar 2.5 Berikut merupakan gambar laju kerusakan yang terbagi atas 3 fase seperti di bawah ini:



Gambar 2.5. Laju kerusakan
(Jardine, 1973)

2.8. Fungsi Distribusi Kerusakan

Karakteristik kerusakan pada sebuah mesin berbeda-beda sesuai dengan jenis dan karakteristik pengoperasian dari mesin tersebut. Sama halnya juga jika dengan mesin yang memiliki jenis dan karakteristik sama akan memiliki karakteristik

kerusakan yang berbeda pula. Oleh sebab itu untuk menganalisis sebuah perawatan terhadap mesin atau peralatan yang digunakan, dibutuhkan beberapa jenis distribusi yang umumnya digunakan yaitu distribusi eksponensial, distribusi normal dan distribusi weibull, distribusi gamma dan sebagainya.

2.8.1. Distribusi Normal

Distribusi normal adalah distribusi probabilitas yang umumnya digunakan dalam teori maupun dalam aplikasi statistik. Distribusi ini dapat digunakan jika besarnya variasi *random* saling bebas atau *independent*. Distribusi normal sangat cocok digunakan pada fase 3 (*wear out*) mesin. Distribusi ini juga memiliki laju kerusakan yang unik karena jika umur sebuah komponen bertambah maka kemungkinan kerusakan komponen akan meningkat sesuai dengan umur komponen.

Berikut merupakan fungsi yang terdapat pada distribusi normal yaitu sebagai berikut (Jardine, 1973):

1. Fungsi keandalan

Fungsi keandalan distribusi normal dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 2.5.

$$R(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_1^{\infty} \exp\left[-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana:

R(t) adalah fungsi keandalan

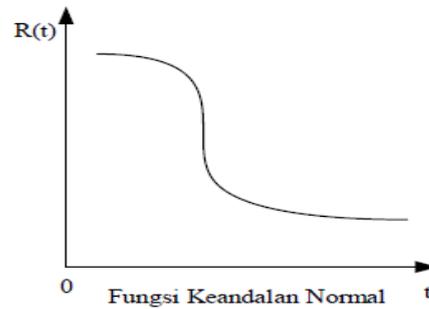
t adalah periode atau waktu kerusakan

π adalah phi 3.14159

μ adalah distribusi rata-rata

σ adalah standar deviasi

Kurva fungsi keandalan distribusi normal dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6. Kurva fungsi keandalan distribusi normal

2. Fungsi laju kerusakan

Fungsi laju kerusakan distribusi normal dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 2.6.

$$r(t) = \frac{\exp\left[-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]}{\int_1^{\infty} \exp\left[-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] dt} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana:

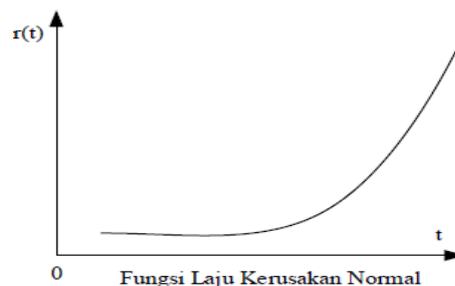
$r(t)$ adalah fungsi laju kerusakan

t adalah periode atau waktu kerusakan

μ adalah distribusi rata-rata

σ adalah standar deviasi

Kurva fungsi laju kerusakan distribusi normal dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7. Kurva fungsi laju kerusakan distribusi normal

3. Fungsi kepadatan kerusakan

Fungsi kepadatan kerusakan distribusi normal dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 2.7.

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

Dimana:

$f(t)$ adalah fungsi kepadatan kerusakan

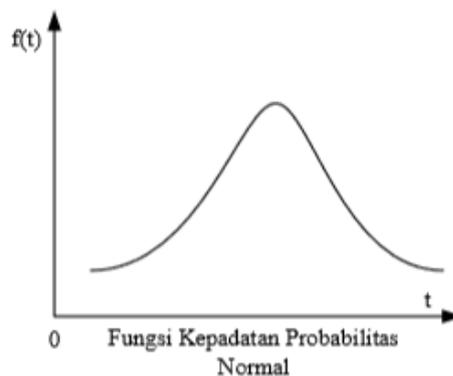
t adalah periode atau waktu kerusakan

π adalah phi 3.14159

μ adalah distribusi rata-rata

σ adalah standar deviasi

Kurva fungsi kepadatan kerusakan distribusi normal dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8. Kurva fungsi kepadatan distribusi normal

4. Fungsi distribusi kumulatif

Fungsi distribusi kumulatif pada distribusi normal dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 2.8.

$$F(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t \exp\left[-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana:

$F(t)$ adalah fungsi distribusi kumulatif

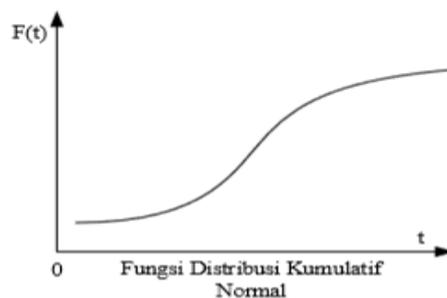
t adalah periode atau waktu kerusakan

π adalah phi 3.14159

μ adalah distribusi rata-rata

σ adalah standar deviasi

Kurva fungsi distribusi kumulatif pada distribusi normal dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9. Kurva fungsi distribusi kumulatif normal

2.8.2. Distribusi Eksponensial

Distribusi eksponensial merupakan distribusi probabilitas yang menggambarkan suatu kerusakan mesin, peralatan atau produk yang diakibatkan oleh kerusakan pada salah satu komponen sehingga menyebabkan mesin mati total dan tidak dapat beroperasi. Distribusi eksponensial memiliki laju kerusakan yang konstan terhadap waktu.

Berikut merupakan fungsi yang terdapat pada distribusi eksponensial yaitu sebagai berikut (Jardine, 1973):

1. Fungsi keandalan

Fungsi keandalan pada distribusi eksponensial dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 2.9.

$$\begin{aligned}
 R(t) &= 1 - F(t) \\
 &= 1 - (1 - \exp[-(\beta t)]) \\
 &= (1 - \exp[-(\beta t)]) \dots \dots \dots (2.9)
 \end{aligned}$$

Dimana:

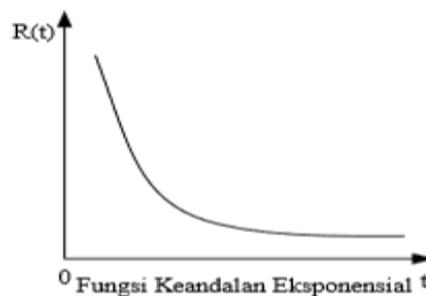
R(t) adalah fungsi keandalan

F(t) adalah fungsi distribusi kumulatif

t adalah periode atau waktu kerusakan

β adalah rata-rata kerusakan

Kurva fungsi keandalan pada distribusi eksponensial dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10. Kurva fungsi keandalan distribusi eksponensial

a) Fungsi laju kerusakan

Fungsi laju kerusakan pada distribusi eksponensial dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 2.10.

$$r(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \beta = \frac{1}{\theta} \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana:

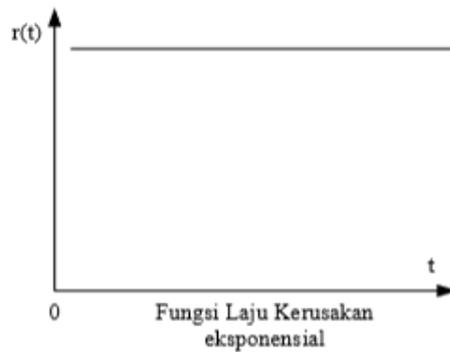
r(t) adalah fungsi laju kerusakan

f(t) adalah fungsi kepadatan kerusakan

R(t) adalah fungsi keandalan

β adalah rata-rata kerusakan

Kurva fungsi laju kerusakan pada distribusi eksponensial dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11. Kurva fungsi laju kerusakan distribusi eksponensial

b) Fungsi kepadatan kerusakan

Fungsi kepadatan kerusakan pada distribusi eksponensial dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 2.11.

$$f(t) = \beta \exp [-(\beta t)] \dots\dots\dots(2.11)$$

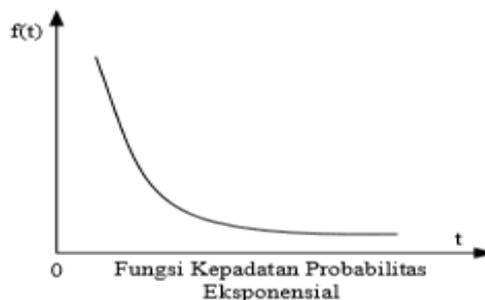
Dimana:

f(t) adalah fungsi kepadatan kerusakan

β adalah rata-rata kerusakan

t adalah periode atau waktu kerusakan

Kurva fungsi kepadatan kerusakan pada distribusi eksponensial dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12. Kurva fungsi kepadatan kerusakan distribusi eksponensial

c) Fungsi distribusi kumulatif

Fungsi distribusi kumulatif pada distribusi eksponensial dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 2.12.

$$\begin{aligned}
 r(t) &= \int_0^1 f(t)dt \\
 &= \int_0^1 \beta \exp[-(\beta t)] \\
 &= 1 - \beta \exp[-(\beta t)] \dots \dots \dots (2.12)
 \end{aligned}$$

Dimana:

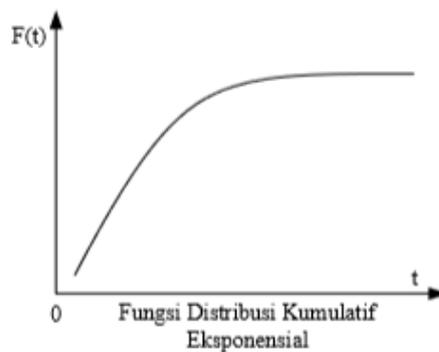
$r(t)$ adalah fungsi distribusi kumulatif

$f(t)$ adalah fungsi kepadatan kerusakan

β adalah rata-rata kerusakan

t adalah periode atau waktu kerusakan

Kurva fungsi distribusi kumulatif pada distribusi eksponensial dapat dilihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13. Kurva fungsi distribusi kumulatif eksponensial

2.8.3. Distribusi Weibull

Distribusi Weibull merupakan distribusi probabilitas yang digunakan dalam model distribusi masa hidup (*life time*). Distribusi ini biasanya digunakan untuk menggambarkan karakteristik kerusakan dan keandalan suatu komponen. Distribusi ini sering disebut sebagai distribusi empirik sederhana yang mewakili data aktual.

Berikut merupakan fungsi yang terdapat pada distribusi weibull yaitu sebagai berikut (Jardine, 1973):

a) Fungsi keandalan

Fungsi keandalan pada distribusi weibull dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 2.13.

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

Dimana:

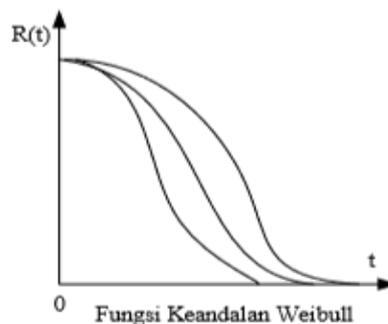
R(t) adalah fungsi keandalan

t adalah periode atau waktu kerusakan

α adalah parameter skala

β adalah parameter bentuk

Kurva fungsi keandalan pada distribusi weibull dapat dilihat pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14. Kurva fungsi keandalan distribusi weibull

b) Fungsi laju kerusakan

Fungsi keandalan pada distribusi weibull dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 2.14.

$$r(t) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t}{\alpha} \right)^{\beta-1} \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana:

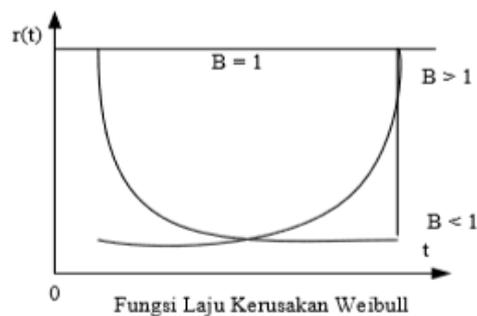
r(t) adalah fungsi laju kerusakan

t adalah periode atau waktu kerusakan

α adalah parameter skala

β adalah parameter bentuk

Kurva fungsi laju kerusakan pada distribusi weibull dapat dilihat pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15. Kurva fungsi laju kerusakan distribusi Weibull

c) Fungsi kepadatan kerusakan

Fungsi kepadatan kerusakan pada distribusi weibull dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 2.15.

$$f(t) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta\right] \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana:

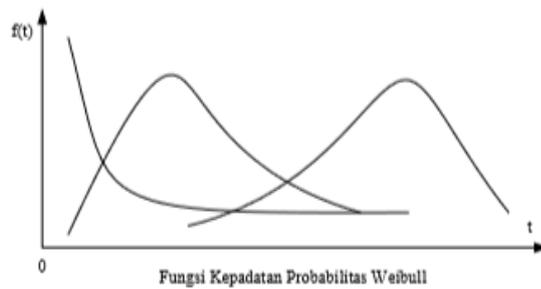
f(t) adalah fungsi kepadatan kerusakan

t adalah periode atau waktu kerusakan

α adalah parameter skala

β adalah parameter bentuk

Kurva fungsi kepadatan kerusakan pada distribusi weibull dapat dilihat pada Gambar 2.16.



Gambar 2.16. Kurva fungsi kepadatan kerusakan distribusi weibull

d) Fungsi distribusi kumulatif

Fungsi distribusi kumulatif kerusakan pada distribusi weibull dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 2.16.

$$F(t) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{t}{\alpha} \right)^\beta \right] \dots\dots\dots(2.16)$$

Dimana:

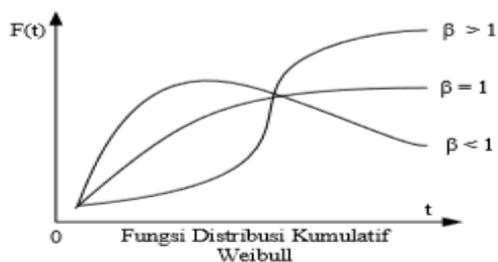
F(t) adalah fungsi distribusi kumulatif

t adalah periode atau waktu kerusakan

α adalah parameter skala

β adalah parameter bentuk

Kurva fungsi distribusi kumulatif pada distribusi weibull dapat dilihat pada Gambar 2.17.



Gambar 2.17. Kurva fungsi distribusi kumulatif eksponensial

2.9. Identifikasi Distribusi Awal

Menurut Ebeling (1997) untuk mengidentifikasi distribusi awal dapat menggunakan metode *least square*. Berikut merupakan persamaan yang digunakan pada subbab ini yaitu sebagai berikut:

1. Nilai tengah kerusakan

Nilai tengah kerusakan (median) dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 2.17.

$$F(t) = \frac{i-0.3}{n+0.4} \dots\dots\dots(2.17)$$

Dimana n adalah banyaknya periode

2. *Index of fit*

Nilai *index of fit* dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 2.18, 2.19, 2.20 dan 2.21.

$$S_{xy} = \left(n \sum_{i=1}^n X_i \cdot Y_i \right) - \left(n \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n Y_i \right) \dots\dots\dots(2.18)$$

$$S_{xx} = \left(n \sum_{i=1}^n X_i^2 \right) - \left(n \sum_{i=1}^n X_i \right)^2 \dots\dots\dots(2.19)$$

$$S_{yy} = \left(n \sum_{i=1}^n Y_i^2 \right) - \left(n \sum_{i=1}^n Y_i \right)^2 \dots\dots\dots(2.20)$$

$$\text{Index of fit adalah } \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_{xx} \cdot S_{yy}}} \dots\dots\dots(2.21)$$

Berikut merupakan perhitungan identifikasi awal pada masing-masing distribusi kerusakan yaitu sebagai berikut:

1. Distribusi Normal

a. $X_i = t_i \dots\dots\dots(2.22)$

Dimana $X_i = t_i$ adalah waktu atau periode kerusakan

b. $Y_i = Z_i = \phi^{-1}(F(t_i)) = \frac{t_i - \mu}{\sigma} \dots\dots\dots(2.23)$

Nilai $Z_i = \phi^{-1}(F(t_i))$ didapat dari tabel *standardized normal probabilities*.

2. Distribusi Eksponensial

$$a. X_i = \ln t_i \dots\dots\dots(2.24)$$

$$b. Y_i = \ln \left[\frac{1}{1-F(t_i)} \right] \dots\dots\dots(2.25)$$

Dimana $F(t_i)$ adalah fungsi distribusi kumulatif

3. Distribusi Weibull

$$a. X_i = \ln t_i \dots\dots\dots(2.26)$$

$$b. Y_i = \ln \left[\frac{1}{1-F(t_i)} \right] \dots\dots\dots(2.27)$$

Dimana $F(t_i)$ adalah fungsi distribusi kumulatif

2.10. Uji Mann's untuk pengujian kesesuaian distribusi

Setelah mengetahui distribusi data yang terpilih maka dilakukan pengujian data. Distribusi data yang terpilih adalah distribusi Weibull. Sehingga untuk dapat memastikan data tersebut berdistribusi Weibull adalah dengan melakukan uji Mann's. Pengujian ini khusus dibuat untuk kegagalan berdasarkan distribusi Weibull yang dikembangkan oleh Mann, Schafer dan Singpurwalla (1974). Langkah-langkah yang dilakukan untuk uji Mann's adalah sebagai berikut (Ebeling, 1997):

1. Membuat Hipotesis

H_0 : Waktu antar kerusakan komponen berdistribusi weibull.

H_1 : Waktu antar kerusakan komponen tidak berdistribusi weibull.

2. Menentukan kriteria penerimaan

H_0 diterima jika $M < F_{(0,01;2k_2;2k_1)}$ (Tabel F)

3. Melakukan uji statistik

Berikut merupakan simbol serta persamaan yang digunakan dalam uji statistik yaitu:

a. Periode (i)

b. Waktu Kerusakan (X_i)

c. Banyaknya pengamatan (r)

d. $\ln X_i$

e. $Z_i = \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{i - 0.5}{r + 0.25} \right) \right] \dots \dots \dots (2.28)$

f. $M_i = Z_{i+1} - \ln X_i \dots \dots \dots (2.29)$

g. $\ln X_{i+1} - \ln X_i \dots \dots \dots (2.30)$

h. $\frac{\ln X_{i+1} - \ln X_i}{M_i} \dots \dots \dots (2.31)$

i. Uji statistiknya adalah

$$M = \frac{k_1 \sum_{i=k_1+1}^{r-1} [(\ln t_{i+1} - \ln t_i) / M_1]}{k_2 \sum_{i=1}^{k_1} [(\ln t_{i+1} - \ln t_i) / M_1]} \dots \dots \dots (2.32)$$

Dimana : $t_i = X_i =$ Waktu antar kerusakan

$r =$ banyaknya periode

$$k_1 = \frac{r}{2} \dots \dots \dots (2.33)$$

$$k_2 = \frac{r-1}{2} \dots \dots \dots (2.34)$$

4. Membuat kesimpulan

2.11. Model Penggantian *Preventive*

Berikut merupakan salah satu model penggantian *preventive* yaitu model *age replacement*.

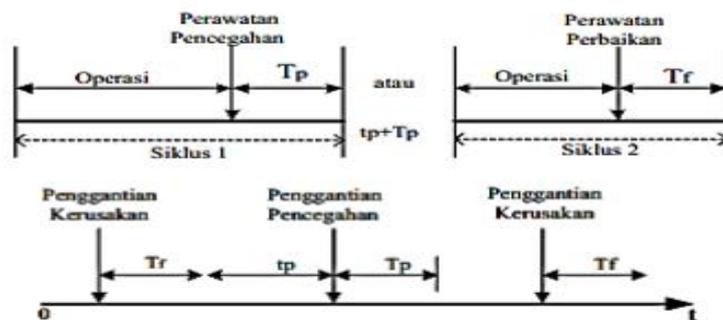
2.11.1. Model *Age Replacement*

Model *age replacement* merupakan sebuah model penggantian dengan memperhatikan umur pemakaian dari suatu komponen sehingga membantu menghindari waktu penggantian komponen baru dalam waktu yang singkat (baru diperbaiki). Model *age replacement* cocok diterapkan untuk komponen yang interval waktu penggantianannya relatif tidak mempengaruhi komponen lainnya. Model penggantian *age replacement* digunakan hanya untuk mengganti komponen yang rusak. Model *age replacement* memiliki dua siklus penggantian pencegahan yaitu:

- a) Siklus pencegahan, merupakan siklus yang diakhiri dengan aktivitas pencegahan dimana komponen yang rusak diganti karena telah mencapai umur penggantian yang telah terjadwalkan

b) Siklus kerusakan, merupakan siklus yang diakhiri dengan aktivitas kerusakan dimana komponen yang rusak diganti karena telah mengalami kerusakan sebelum mencapai umur penggantian yang telah terjadwalkan.

Berikut merupakan kedua siklus model *age replacement* yang dapat dilihat pada Gambar 2.18.



Gambar 2.18. Model *age replacement* (Jardine, 1973)

Model *age replacement* dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 2.35 yaitu adalah sebagai berikut:

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

Ekspetasi panjang siklus = (panjang siklus 1 × probabilitas siklus 1) + (panjang siklus 2 × probabilitas siklus 2)

$$C(tp) = \frac{C_p.R(t) + C_f.(1-R(t))}{(t+T_p).R(t) + \int_0^{tp} t.f(t)dt + T_f.(1-R(t))} \dots\dots\dots(2.35)$$

- Dimana : C_f adalah ongkos penggantian kerusakan
- C_p adalah ongkos penggantian pencegahan
- T_f adalah waktu penggantian kerusakan
- T_p adalah waktu penggantian pencegahan
- tp adalah interval waktu penggantian