Bab 2
Tinjauan Pustaka

2.1 Definisi dan Tujuan 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 dalam kondisi siap pakai. Fasilitas yang dimaksud bukan hanya mesin-mesin produksi saja yang memerlukan perawatan, tetapi juga fasilitas lain seperti generator, turbin dan fasilitas penunjang kantor lainnya. Contoh utilitas pabrik lainnya seperti komputer, mesin fotocopy, peralatan angkut (*crane, forklift*) dan lain-lain (Sudrajat, 2011). Berdasarkan definisi tersebut, maka terdapat beberapa alasan melakukan beberapa pekerjaan perawatan, antara lain (Sudrajat, 2011):

1. Agar fasilitas dapat siap dipakai pada saat yang diperlukan.
2. Seiring dengan waktu, tentunya kondisi dari suatu fasilitas yang mengalami pemakaian, kemampuan kinerjanya lambat laun akan menurun karena tanpa perawatan semua fasilitas tersebut akan melemah secara bertahap tapi pasti, sehingga tidak lagi mempunyai kemampuan kerja baik secara teknis maupun ekonomis.
3. Diharapkan akan dapat memperpanjang umur pakai dari fasilitas tersebut.

Perkembangan dan evolusi perawatan terjadi melalui beberapa tahapan, yaitu sebagai berikut:

1. Perawatan tidaklah dikenal sebagai suatu keilmuan tertentu.
2. Perawatan dianggap sebagai spesialisasi tersendiri.
3. Mulai memperhatikan perawatan pencegahan.
4. Mulailah diperkenalkan aspek-aspek manajerial.
5. Peran perawatan masuk ke dalam proses desain.

6. Perawatan mulai menggunakan suatu perencanaan di seluruh operasi perawatan dan data-data kejadian yang berhubungan dengan pekerjaan di masa lalu yang dipakai sebagai masukan.

2.1.2 Tujuan Perawatan

Perawatan adalah pendukung bagi kegiatan komersil dengan cara efektif, efisien dan berbiaya rendah. Adanya biaya perawatan ini, maka mesin produksi dapat digunakan sesuai dengan rencana dan tidak mengalami kerusakan selama jangka waktu tertentu yang telah direncanakan tercapai. Beberapa tujuan perawatan yang utama adalah (Sudrajat, 2011):

1. Kemampuan produksi dapat memenuhi kebutuhan sesuai dengan rencana produksi.
2. Menjaga kualitas pada tingkat yang tepat untuk memenuhi apa yang dibutuhkan oleh produk itu sendiri dan kegiatan produksi yang tidak terganggu.
3. Membantu mengurangi pemakaian dan penyimpangan diluar batas serta menjaga modal yang diinvestasikan dalam perusahaan, selama waktu yang ditentukan sesuai dengan kebijakan perusahaan mengenai investasi tersebut.
4. Mencapai tingkat biaya perawatan secara efektif dan efisien secara keseluruhan.
5. Menjamin keselamatan orang yang menggunakan sarana tersebut.
6. Memaksimalkan ketersediaan semua peralatan sistem produksi dengan cara mengurangi *downtime*.
7. Memperpanjang umur atau masa pakai dari mesin tersebut.

2.2 Jenis-jenis Kebijakan Perawatan

2.2.1 Perawatan Kerusakan (*Breakdown Maintenance*)

Perawatan kerusakan dapat diartikan sebagai kebijakan perawatan dengan cara mesin dioperasikan hingga rusak, kemudian baru diperbaiki atau diganti. Kebijakan ini merupakan strategi yang kurang baik, sehingga dapat menimbulkan biaya tinggi dan kehilangan kesempatan untuk mengambil keuntungan bagi perusahaan karena diakibatkan terhentinya mesin, keselamatan kerja tidak terjamin, kondisi mesin

tidak diketahui dan tidak ada perencanaan waktu, tenaga kerja maupun biaya yang baik (Sudrajat, 2011).

Metode ini dikenal juga sebagai perawatan yang didasarkan pada kerusakan (*failure based maintenance*). Kebijakan perawatan ini kurang sesuai untuk mesin-mesin dengan tingkat kritis yang tinggi atau mempunyai harga yang mahal dan hanya sesuai untuk mesin-mesin yang sederhana dimana tidak memerlukan perwatan secara intensif. Keuntungan dari kebijakan perawatan kerusakan, yaitu (Sudrajat, 2011):

1. Murah dan tidak perlu melakukan perawatan.
2. Cocok untuk mesin yang murah, sederhana dan modular.

Adapun kerugiannya adalah (Sudrajat, 2011):

1. Kasar dan berbahaya.
2. Menimbulkan kerugian yang besar bila ditetapkan pada mesin yang mahal, kompleks, dan dituntut tingkat keselamatan tinggi.
3. Tidak bisa menyiapkan sumber daya manusia.

2.2.2 Perawatan Pencegahan (*Preventive Maintenance*)

Preventive Maintenance adalah kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan untuk mencegah timbulnya kerusakan-kerusakan yang tidak terduga dan menemukan kondisi atau keadaan yang dapat menyebabkan fasilitas produksi mengalami kerusakan pada waktu digunakan dalam proses produksi (Sudrajat, 2011). Semua fasilitas produksi yang diberikan *preventive maintenance* akan terjamin kelancarannya dan selalu diusahakan dalam kondisi yang siap dipergunakan untuk proses produksi. Dimungkinkan bahwa pembuatan suatu jadwal pemeliharaan akan tepat dan rencana produksi akan sesuai target.

Tujuan *preventive maintenance* diarahkan untuk memaksimalkan *availability* dan meminimasikan ongkos peningkatan *reliability*. Ruang lingkup kegiatan bisa hanya mencakup area proses (*operation, utility, main process* dan lain-lain) atau bisa

diperluas ke area lain seperti *building office* dan fasilitas umum (Sudrajat, 2011). Kriteria penentuan fasilitas yang masuk dalam program perawatan pencegahan dilihat dari (Sudrajat, 2011):

1. Apakah kerusakan alat berdampak pada keselamatan?
2. Apakah kerusakan alat dapat menyebabkan *system down*?
3. Apakah biaya perbaikannya tinggi dan lama?
4. Ketersediaan *spare part* dari fasilitas tersebut.
5. Kondisi kerja dari fasilitas tersebut.

2.2.3 Perawatan Terjadwal (*Schedule Maintenance*)

Perawatan terjadwal merupakan bagian dari perawatan pencegahan. Perawatan ini bertujuan mencegah terjadi kerusakan dan perawatannya dilakukan secara periodik dalam rentang waktu tertentu. Strategi perawatan ini, disebut juga sebagai perawatan berdasarkan waktu (*time based maintenance*). Kebijakan perawatan ini cukup baik dalam mencegah terhentinya mesin yang tidak direncanakan (Sudrajat, 2011).

Rentang waktu perawatan ditentukan berdasarkan pengalaman, data masa lalu atau rekomendasi dari pabrik pembuat mesin yang bersangkutan. Kekurangannya, jika rentang waktu perawatan terlalu pendek akan mengganggu aktivitas produksi dan dapat meningkatkan kesalahan yang timbul karena kurang cermatnya teknisi dalam memasang kembali komponen yang diperbaiki serta kemungkinan adanya kontaminan yang masuk kedalam sistem. Jika rentang waktu perawatan terlalu panjang kemungkinan mesin akan mengalami kerusakan sebelum tiba waktu perawatan (Sudrajat, 2011).

2.2.4 Perawatan Prediktif (*Predictive Maintenance*)

Perawatan prediktif ini pun merupakan bagian dari perawatan pencegahan. Perawatan prediktif ini dapat diartikan sebagai strategi perawatan, di mana pelaksanannya didasarkan kondisi mesin itu sendiri. Cara menentukan kondisi mesin dilakukan tindakan pemeriksaan atau *monitoring* secara rutin, jika terdapat

tanda atau gejala kerusakan segera mengambil tindakan perbaikan untuk mencegah kerusakan lebih lanjut (Sudrajat, 2011).

Perawatan prediktif disebut juga perawatan berdasarkan kondisi (*Condition Based Maintenance*) atau juga disebut *monitoring* kondisi mesin (*Machinery Condition Monitoring*). Artinya sebagai penentuan kondisi mesin dengan cara memeriksa mesin secara rutin, sehingga dapat diketahui keandalan mesin serta keselamatan kerja terjamin. Kegiatan *monitoring* yang harus dipenuhi, pertama menetapkan langkah-langkah pemeriksaan, merencanakan prosedur inspeksi sehingga dapat menghemat waktu dan melakukan pemeriksaan secara rutin terhadap kelengkapan mesin dan peralatan agar dapat (Sudrajat, 2011):

1. Memastikan sistem beroperasi sesuai rencana.
2. Melakukan pemeriksaan terhadap kondisi mesin.
3. Melakukan evaluasi potensi yang akan menimbulkan gangguan dan kerusakan.
4. Melakukan penaksiran terjadinya kerusakan.
5. Melakukan identifikasi komponen-komponen pengganti.
6. Membuat jadwal perbaikan berdasarkan kebutuhan.

Dilakukannya kegiatan inspeksi dapat diketahui kondisi mesin secara pasti dan gejala kerusakan dapat terdeteksi secara dini. Ada beberapa pertimbangan dalam menentukan frekuensi untuk melakukan inspeksi, yaitu beban kerja, umur, pengalaman dan kritisnya fasilitas. Kegiatan dilakukan bisa berupa (Sudrajat, 2011):

1. Perawatan, yang merupakan langkah pemeliharaan secara rutin yang didasarkan pada cara perawatan harian, mingguan, bulanan dan seterusnya. Bisa juga didasarkan pada jumlah jam pemakaian tertentu atau satuan *output* per produksi.
2. Perbaikan, yang dimaksud dengan perbaikan disini adalah perbaikan kecil yang mungkin timbul dari hasil pemeriksaan.

Tujuan perawatan prediktif ini terutama untuk (Sudrajat, 2011):

1. Mereduksi *breakdown* dan kecelakaan yang disebabkan oleh kerusakan alat.
2. Meningkatkan waktu operasi dan produksi.
3. Mereduksi waktu dan *cost of maintenance*.
4. Meningkatkan kualitas produk dan pelayanan.

2.3 Permasalahan dalam Perawatan

Fungsi utama dari perawatan adalah untuk mengendalikan kondisi peralatan dan mesin. Manajemen perawatan berupaya untuk menjawab beberapa permasalahan yang dihadapi oleh indutri dalam melakukan aktivitas prosesnya. Untuk memecahkan masalah yang dihadapi, terkadang para pengambil keputusan dihadapkan pada alternatif solusi yang harus diambil. Setiap alternatif memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing, sehingga sulit untuk menentukan alternatif manakah yang merupakan solusi optimal. Adapun permasalahan yang dihadapi, antara lain (Kurniawan, 2013):

1. Pembentukan organisasi perawatan
2. Pembagian tugas perawatan dan perencanaan tugas perawatan
3. Frekuensi inspeksi dan ruang lingkup inspeksi
4. Pengambilan keputusan perbaikan, perbaikkan menyeluruh dan pergantian (*repair, overhaul, and replacement*).
5. Kebijakan *breakdown maintenance*
6. Peraturan penggantian komponen
7. Investasi pengembangan teknologi untuk mengganti fasilitas
8. Reliabilitas (keandalan mesin dan perangkat produksi)
9. Jumlah tim perawatan
10. Komposisi mesin dalam lini produksi
11. Penjadwalan dalam melakukan aktivitas perawatan.

Perawatan tersebut dapat dipecahkan melalui implementasi dari metode yang akan dibahas pada bab selanjutnya.

2.4 Konsep Perencanaan Perawatan

Manajemen memungkinkan perusahaan untuk melakukan beberapa tahapan aktivitas, sehingga proses perawatan dapat dilaksanakan secara sistematis. Perencanaan perawatan dapat mencacu kepada kaidah manajemen secara umum. James A.F. Stonner mengemukakan bahwa "*Manajement is process of planning, organizing, leading and controlling the efforts of organization members of using all other organizational resources to achieve stated organizational*". Salah satu konsep yang dapat diambil adalah "Fayol *primary focus in managerial*", dimana Henry Fayol (1841-1925) mendefinisikan manajemen kedalam lima fungsi, antara lain (Kurniawan, 2013):

1. *Planning* (Perencanaan)
2. *Organizing* (Pengorganisasian)
3. *Commanding* (Komando)
4. *Coordinating* (Koordinasi)
5. *Controlling* (Pengendalian dan evaluasi)

Kelima fungsi tersebut dapat diterapkan dalam melakukan perencanaan perawatan. *Planning* disusun sebagai langkah yang harus dilakukan oleh pelaksana untuk mencapai tujuan manajemen perawatan, pada tahapan ini seorang pengambil keputusan harus dapat memikirkan dengan matang tujuan dan tindakannya.berdasarkan kepada metode, rencana atau logika tertentu dan bukan atas dasar firasat. *Organizing* dilakukan untuk memobilisasi sumber daya dalam melakukan pembentukan departemen perawatan, dimana pengambil keputusan mengkoordinasi kefektifan sebuah organisasi yang berdasarkan kepada kemampuannya masing-masing untuk mengarahkan sumber daya guna mencapai tujuan, sehingga semakin terpadu dan terkoordinasi tugas-tugas sebuah organisasi, akan semakin efektif organisasi tersebut. (Kurniawan, 2013)

Commanding dan *Controlling* merupakan tahapan pelaksanaan aktivitas perawatan, sehingga aktivitas dapat terkendali melalui pembentukan standar prosedur pelaksanaan perawatan sehingga pekerjaan dapat dilakukan secara terstruktur dan

harmonis. *Contolling* dapat membantu manajemen untuk melihat sejauh mana pelaksanaan yang dilakukan untuk dapat mencapai tujuan yang telah ditetapkan dalam perencanaan perawatan, sehingga dapat diketahui kelebihan dan kekurangan selama proses yang berguna untuk mengimplementasikan *continuous improvement* (perbaikan secara terus menerus). (Kurniawan, 2013)

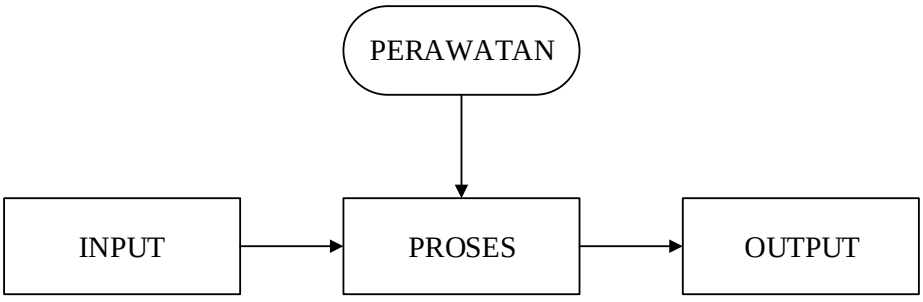
Perencanaan program perawatan memerlukan dasar pelaksanaan yang logis, sehingga perlu mempertimbangkan (Kurniawan, 2013):

1. Mengapa perlu diadakannya program perawatan?
2. Apa yang harus dirawat?
3. Siapa yang harus melakukan perawatan?
4. Kapan dan berapa lama perawatan itu harus dilaksanakan?
5. Bagaimana cara perawatannya?

Dasar pelaksanaan logis dibutuhkan, sehingga pemecahan masalah dapat dilakukan secara terstruktur.

2.5 Model Perawatan Sebagai Pendukung Aktivitas Produksi

Manajemen perawatan akan dapat bekerja secara optimal, apabila mampu menghasilkan uraian kegiatan, program dan peraturan pelaksanaan. Oleh sebab itu, perlu disusun adanya program perawatan, sehingga pelaksanaannya dapat terstruktur.



Gambar 2.1 Perawatan dalam Aktivitas Industri (Kurniawan,2013)

Mengingat peningkatan produksi yang semakin kompleks dan peralatan yang bertambah canggih, maka diperlukan program perawatan untuk menjaga sistem

kesiapan sarana produksi yang berupa peralatan dan mesin, sehingga proses transformasi bahan baku menjadi produk, dapat berjalan dengan baik serta menghasilkan *output* yang berkualitas. (Kurniawan, 2013)

2.6 Keandalan (*Reliability*)

Reliability atau keandalan menunjukkan keberadaan atau kondisi suatu fasilitas. Kondisi tersebut dapat dikatakan positif maupun negatif. Konsep *reliability* melibatkan konsep statistik. Melalui pengukuran ini, perusahaan memiliki gambaran terhadap kondisi peralatan yang dimiliki, sehingga mampu memprediksi perlakuan terhadap peralatan tersebut. *Reliability* juga dapat dikuantifkasi dengan menggunakan rata-rata banyaknya kegagalan dalam rangka waktu tertentu (*failure rate*). Dapat pula dinyatakan sebagai lamanya waktu rata-rata antar kegagalan (*mean time between failure*, MTBF). (Kurniawan, 2013)

Rekayasa keandalan (*Reliability Engineering*) lahir sebagai akibat dari adanya kompleksitas terhadap penggunaan peralatan dan komponen, serta kerusakan yang terjadi sebagai dampak dari penggunaan alat yang mengakibatkan peningkatan biaya suku cadang, peralatan dan logistik. Konsep ini dimulai sejak tahun 1950 di Amerika Serikat. Kendalan tersebut difokuskan pada probabilitas, persyaratan performansi, waktu dan kondisi penggunaan. Pemahaman dari keempat elemen ini, memenuhi konsep "*failure rate*" yang dapat berubah sebagai fungsi atas waktu. Secara umum,, *reliability* akan mempengaruhi *availability* atau keberadaan alat untuk berfungsi dengan baik terutama untuk produk atau barang yang *repairable* (dapat diperbaiki). (Kurniawan, 2013)

Secara umum, pengujian keandalan bertujuan untuk (Kurniawan, 2013):

1. Menentukan kondisi penggunaan peralatan.
2. Mengukur keandalan peralatan untuk tujuan kontraktual, misalnya pada perjanjian ekspor-impor sebagai *safety regulation*.
3. Mengkualifikasi perubahan desain proses untuk vendor.
4. Memformulasikan kebijakan garansi maupun *service*.

5. Mengidentifikasi alur kegagalan *design manufacturing*.
6. Membantu pihak manajemen dalam memillih kebijakan strategi penggunaan alat.

2.7 Kurva Laju Kerusakan

Laju kerusakan adalah salah satu hal yang harus diperhatikan dalam menganalisa kerusakan. Karakteristik fungsi laju kerusakan suatu peralatan mengikuti pola dasar sebagai berikut:

1. *Phase* 1 : Kerusakan awal (*Early Failure*)

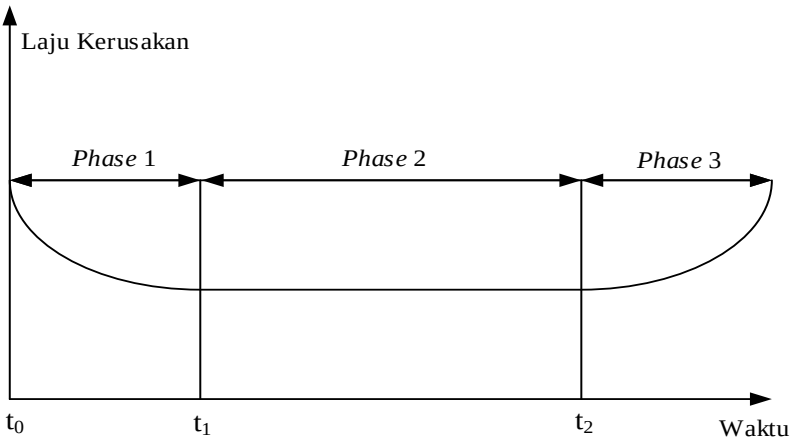
   Kerusakaan terjadi pada setiap awal operasi (t_0) dan dan kerusakan awal biasanya terjadi saat mesin atau sistem baru dijalankan. Laju kerusakan pada *Phase* ini disebut sebagai kerusakan awal.

2. *Phase* 2 : Pengoperasian normal (*Normal Operation*)

   Pada *Phase* ini biasanya kaju kerusakannya cenderung konstan dan dimulai pada saat t_1 sampai t_2. *Phase* ini memiliki laju kerusakan rendah.

3. *Phase* 3 : Pengoperasian melebihi umur mesin atau komponen (*Wear Out*).

   Pada *phase* ini akan terjadi penurunan performansi sebuah mesin atau komponen, karena cenderung memiliki laju kerusakan yang memuncak atau sering terjadi kerusakan. Maka dari itu pada *phase* ini disebut sebagai pemakaian yang melebihi umur mesin atau komponen.



Gambar 2.2 Perawatan dan Siklus Hidup Komponen (Jardine, 1973)

2.8 Fungsi-fungsi Distribusi Kerusakan

Mesin pasti memiliki karakteristik kerusakan yang beraneka ragam dan berbeda-beda. Apabila sebuh mesin yang sama namun dioperasikan dalam kondisi yang berbeda, maka akan berbeda pula karakteristik kerusakannya. Bahkan adapun pada mesin yang sama digunakan dalam kondisi yang sama akan memiliki karakteristik kerusakan yang berbeda pula. Dalam hal ini, untuk menganalisa perawatan untuk mesin dapat menggunakan beberapa jenis distribusi yang umum biasanya digunakan yaitu distribusi normal, distribusi eksponensial dan distribusi weibull.

2.8.1 Distribusi Normal

Distribusi normal adalah distribusi probabilitas yang dapat digunakan dalam teori maupun dalam aplikasi statistik. Distribusi tersebut dapat digunakan jika disebabkan oleh besarnya variasi random yang tidak bergantungan (saling bebas/*independent*). Distribusi ini sangat baik digunakan untuk *phase* saat *ware out* mesin. Distribusi normal akan memiliki laju kerusakan yang menarik karena semakin bertambahnya umur sebuah komponen maka probabilitas kerusakan komponen akan naik sesuai dengan umur komponen.

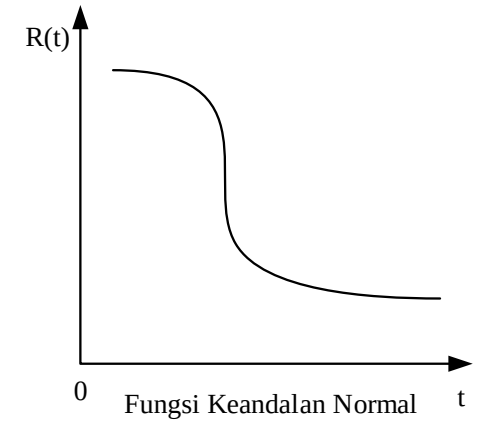
Fungsi-fungsi yang ada pada distribusi normal adalah sebagai berikut (Jardine, 1973):

1. Fungsi keandalan

   Rumusnya adalah:

$$R(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_1^{\infty} \exp\left[-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad \text{.....(2.1.)}$$

Kurva fungsi keandalan:



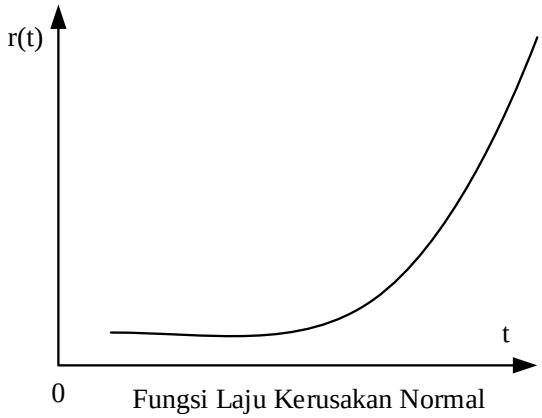
Gambar 2.3 Kurva fungsi keandalan normal

2. Fungsi laju kerusakan

Rumusnya adalah:

$$r(t) = \frac{\exp[(-t-\mu)^2/2\sigma^2]}{\int_1^{\infty} \exp[-(t-\mu)^2/2\sigma^2]dt} \quad \text{.....(2.2.)}$$

Kurva laju kerusakan:



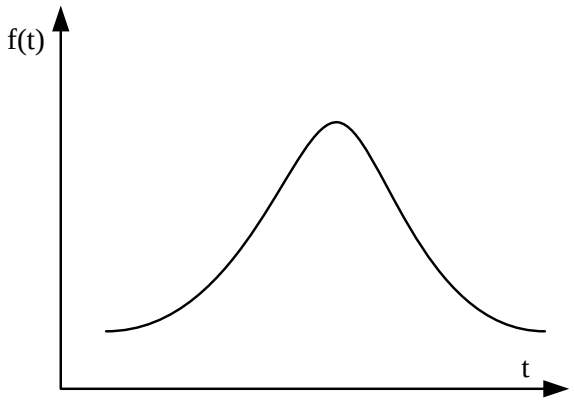
Gambar 2.4 Kurva fungsi laju kerusakan normal

3. Fungsi kepadatan kerusakan

   Rumusnya adalah:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2} \right] \quad \text{.....(2.3.)}$$

   Kurva kepadatan kerusakan:



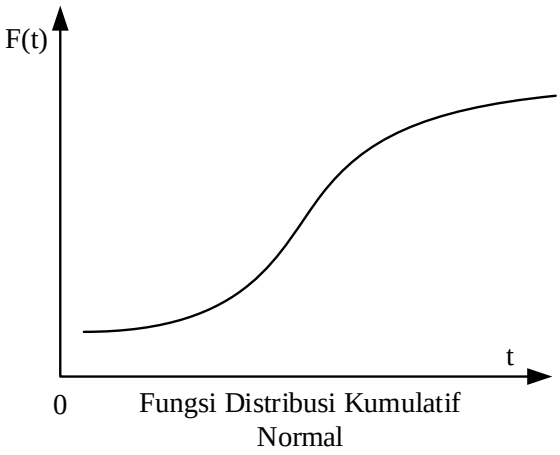
Gambar 2.5 Kurva fungsi kepadatan probabilitas normal

4. Fungsi distribusi kumulatif

   Rumusnya adalah:

$$R(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{1} \exp\left[- \frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2} \right] \text{.....(2.4.)}$$

Kurva distribusi kumulatif:



Gambar 2.6 Kurva fungsi distribusi kumulatif normal

2.8.2 Distribusi Eksponensial

Distribusi eksponensial merupakan sebuah gambaran suatu kerusakan dari mesin atau komponen yang diakibatkan oleh kerusakan pada salah satu komponen yang menyebabkan mesin akan mati total atau tidak dapat beroperasi. Distribusi ini digunakan apabila kerusakan tidak dipengaruhi oleh unsur pemakaian peralatan. Dalam hal ini, distribusi tersebut memiliki kelajuan yang konstan terhadap waktu.

Fungsi-fungsi dalam distribusi eksponensial adalah sebagai berikut (Jardine, 1973):

1. Fungsi keandalan

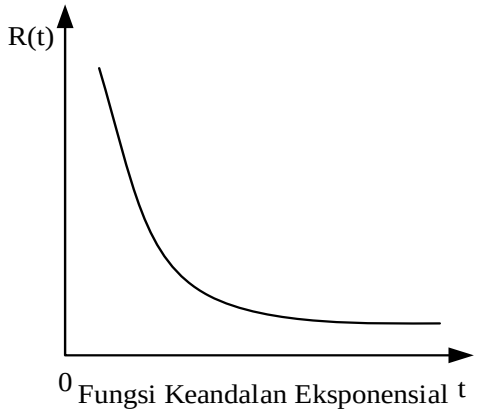
   Rumusnya adalah:

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

   $= 1 - (1 - \exp[-(\beta t)]$

   $= \exp[-(\beta t)]$ ……..……..……(2.5.)

Kurva fungsi keandalan:



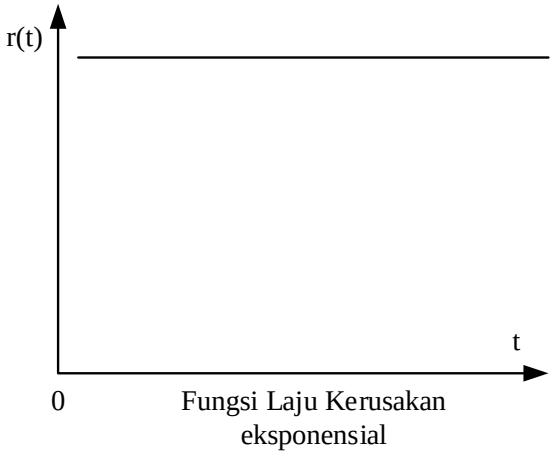
Gambar 2.7 Kurva fungsi keandalan eksponensial

2. Fungsi laju kerusakan

Rumusnya adalah:

$$R(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \beta = \frac{1}{\theta} \qquad \text{.....(2.6.)}$$

Kurva fungsi laju kerusakan:



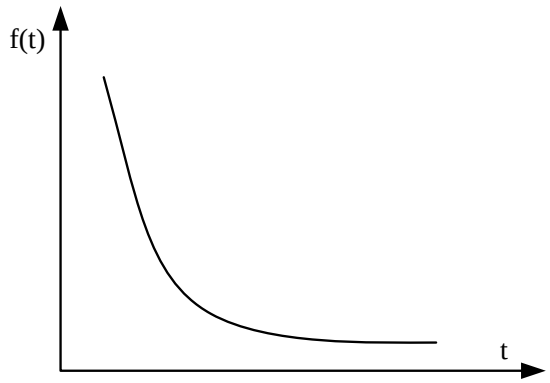
Gambar 2.8 Kurva fungsi laju kerusakan eksponensial

3. Fungsi kepadatan kerusakan

   Rumusnya adalah:

   $F(t) = \beta \exp [-(\beta t)]$ …….(2.7.)

   Kurva fungsi kepadatan kerusakan:



Gambar 2.9 Kurva fungsi kepadatan probabilitas eksponensial

4. Fungsi distribusi kumulatif

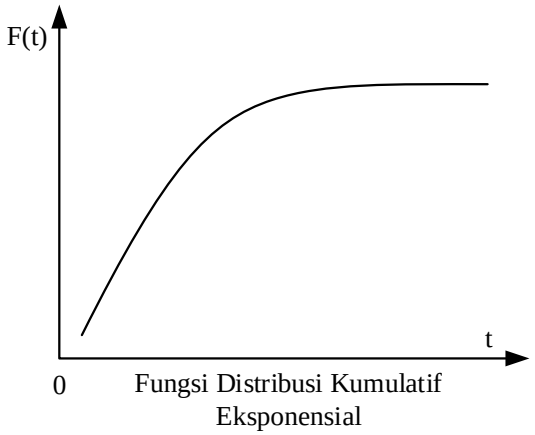
   Rumusnya adalah:

   $F(t) = \int_0^1 f(t)dt$

   $= \int_0^1 \beta \exp[-(\beta t)]$

   $= 1 - \exp [-(\beta t)]$ …….(2.8.)

Kurva fungsi distribusi kumulatif:



Gambar 2.10 Kurva fungsi distribusi kumulatif eksponensial

2.8.3 Distribusi Weibull

Distribusi weibull diperkenalkan pertama kali oleh ahli fisika dari Swedia Wallodi Weibull pada tahun 1939. Pada praktiknya distribusi ini sering digunakan dalam memodelkan waktu sampai kegagalan (*time to failure*) dari suatu sistem fisika. Contoh nyata misalnya pada sistem yaitu dimana jumlah kegagalan meningkat dengan berjalannya waktu (contoh keausan bantalan), lalu berkurang dengan berjalannya waktu (misalnya daya hantar beberapa semi konduktor) atau kegagalan yang terjadi oleh suatu kejutan (*shock*) pada sistem.

Distribusi tersebut merupakan salah satu distribusi yang sering digunakan dalam model distribusi masa hidup (*life time*). Distribusi Weibull merupakan distribusi empirik sederhana yang mewakili data yang actual, karena keuntungan dari distribusi ini yaitu dapat digunakan walaupun kapabilitas dan sampelnya sedikit. Kemampuannya dapat menunjukkan bentuk distribusi data yang terbaik. Distribusi ini biasa digunakan dalam menggambarkan karakteristik kerusakan dan keandalan pada komponen.

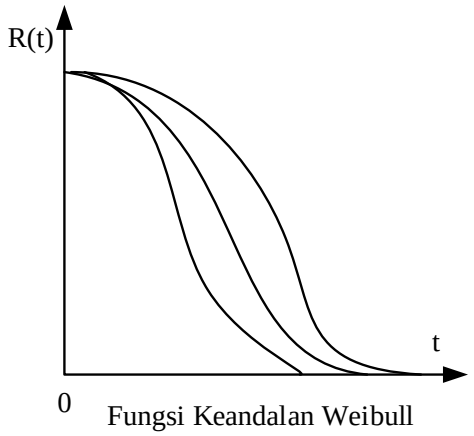
Fungsi-fungsi dari distribusi Weibull adalah sebagai berikut (Jardine, 1973):

1. Fungsi keandalan

   Rumusnya adalah:

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta}\right] \quad \text{.....(2.9.)}$$

   Kurva fungsi kepadatan kerusakan:



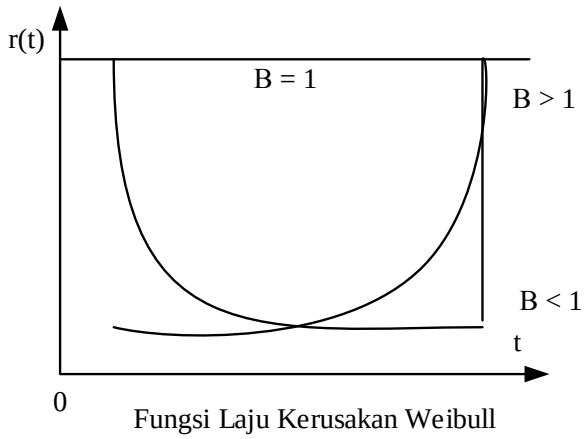
Gambar 2.11 Kurva fungsi keandalan weibull

2. Fungsi laju kerusakan

   Rumusnya adalah:

$$r(t) = \frac{\beta}{\alpha}\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta-1} \quad \text{.....(2.10.)}$$

Kurva fungsi laju kerusakan:



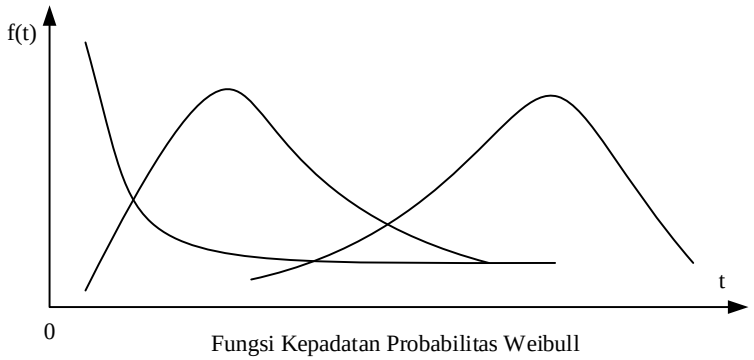
Gambar 2.12 Kurva fungsi laju kerusakan weibull

3. Fungsi kepadatan kerusakan

Rumusnya adalah:

$$f(t) = \frac{\beta}{\alpha}\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta}\right] \quad \text{.....(2.11.)}$$

Kurva fungsi kepadatan kerusakan:



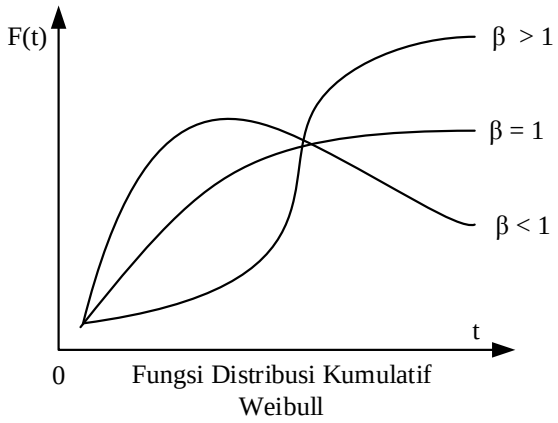
Gambar 2.13 Kurva fungsi kepadatan probabilitas weibull

4. Fungsi distribusi kumulatif

Rumusnya adalah:

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

Kurva fungsi distribusi kumulatif:



Gambar 2.14 Kurva fungsi distribusi kumulatif weibull

2.9. Identifikasi Distribusi Awal

Menurut Ebeling (1997) dalam Kristina (2010) dalam mengidentifikasi distribusi awal dapat dilakukan dengan mengunakan metode *least square* (kuadrat terkecil). Perhitungan dengan menggunakan metode ini adalah:

1. Nilai tengah kerusakan (median)

$$F(t) = \frac{i - 0{,}3}{n + 0{,}4} \quad \text{.....(2.13.)}$$

2. Index of Fit

$$Sxy = (n\sum_{i=1}^{n} XiYi)-(\sum_{i=1}^{n} Xi \sum_{i=1}^{n} Yi) \quad \text{.....(2.14.)}$$

$$Sxx = (n\sum_{i=1}^{n} Xi^2)-(\sum_{i=1}^{n} Xi)^2 \quad \text{.....(2.15.)}$$

$$Syy = (n\sum_{i=1}^{n} Yi^2)-(\sum_{i=1}^{n} Yi)^2 \quad \text{.....(2.16.)}$$

$$\text{Index of Fit adalah } \frac{Sxy}{\sqrt{Sxx\ Syy}} \quad \text{.....(2.17.)}$$

Perhitungan identifikasi awal untuk masing-masing distribusi adalah

1. Distribusi Normal

   a. $Xi = ti$ .....(2.18.)

   b. $Yi = Zi = \Phi\text{-}1\,(F(ti)) = \frac{ti-\mu}{\sigma}$ .....(2.19.)

Nilai Zi = Φ-1 (F(ti)) didapat dari tabel *Standardized Normal Probabilities*.

2. Distribusi Eksponensial
   a. Xi = ln ti……..…….(2.20.)
   b. Yi = ln(1/1-F(ti)) ……..…….(2.21.)

3. Distribusi Weibull
   a. Xi = ln ti……..…….(2.22.)
   b. Yi = ln ln(1/1-F(ti)) ……..…….(2.23.)

2.10 *Mann's Test* untuk Distribusi Weibull

Berikut merupakan perhitungan Mann's Test untuk distribusi Weibull. Pengujian ini dibuat khusus untuk berdistribusi kerusakan Weibull yang dibuat dengan Mann, Schafer (1974). Mann's Test dilakukan untuk membuktikan apakah waktu antar kerusakan berdistribusi Weibull atau tidak. Adapun langkah-langkahnya sebagai berikut (Kurniawan, 2013):

1. Hipotesis :
   H_0 : Waktu antar kerusakan berdistribusi Weibull
   H_1 : Waktu antar kerusakan tidak berdistribusi Weibull

2. Kriteria penerimaan:
   H_0 diterima jika $M < F_{(0,01;2k2;2k1)}$ (Tabel F)

3. Uji statistik:
   a. Periode (i)
   b. Waktu Kerusakan (Xi)
   c. ln Xi
   d. $Zi = \ln[-\ln\left(1-\frac{i-0,5}{n+0,25}\right)]$
   e. $Mi = Z_{i+1} - \ln Xi$
   f. $\ln X_{i+1} - \ln X_i$

g. $(\ln X_{i+1} - \ln X_i)/Mi$

Pengujian statistiknya adalah:

$$M = \frac{K_1 \sum_{i=k1+1}^{r-1} [(\ln t_{i+1} - \ln t_i)/Mi]}{K_1 \sum_{i=1}^{k1} [(\ln t_{i+1} - \ln t_i)/Mi]} \quad \text{……..(2.24.)}$$

Di mana : ti = Xi = Waktu antar kerusakan

r = Jumlah Pengamatan

$$k_1 = \frac{r}{2} \text{ ……..(2.25.)}$$

$$k_2 = \frac{r-1}{2} \text{ ……..(2.26.)}$$

2.11 Model Penggantian Preventif

2.11.1 Model *Block Replacement*

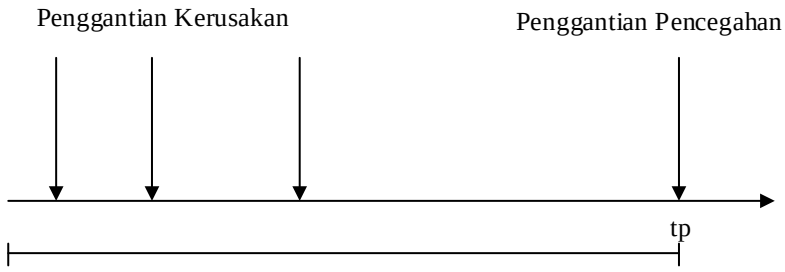
Model *Block Replacement* adalah model penggantian komponen dilakukan pada interval waktu yang tetap (konstan) tanpa memperhatikan umur pakai dari komponen tersebut. Dalam model ini, tindakan penggantian dilakukan pada suatu interval yang tetap, jadi model ini digunakan jika diinginkan adanya konsistensi terhadap interval penggantian yang telah ditentukan walaupun sebelumnya telah terjadi penggantian akibat kerusakan. Pada model ini, sekalipun ongkosnya lebih tinggi tetapi cocok untuk sistem multi komponen lain.

Keuntungan lain dari model ini adalah penjadwalannya yang lebih sederhana, karena penentuan waktu perawatannya hanya dilakukan satu kali saja dan tetap. Adapun prosedur dari model ini adalah:

1. Strategi model ini adalah melakukan penggantian kerusakan yang terjadi dalam interval (0,tp) dengan mengabaikan frekuensi penggantian pencegahan setiap selang waktu tp sekali secara konstan dengan mengabaikan umur komponen, sehingga pada model ini akan terdapat kemungkinan terjadinya penggantian komponen yang masih baru dipasang. Setelah penggantian kerusakan harus

mengalami penggantian lagi saat tiba waktu penggantian pencegahan yang dilakukan dalam kurun waktu yang relatif berdekatan.

2. Kebijakan penggantian pencegahan model ini dapat dilihat pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15 Model *block replacement* (Jardine, 1973)

$$C(tp) = \frac{\text{Ekspektasi Ongkos Penggantian dalam Interval } (0,Tp)}{\text{Panjang Interval Waktu}}$$

Dimana :

Ekspektasi ongkos penggantian dalam interval (0,tp) = Ongkos Preventif Replacement + Ekspektasi Ongkos Failure Replacement = C(Tp) + Cf(Tf) . H(tp)

Panjang Interval Waktu = tp +Tp

$$\text{Jadi : } C(Tp) = \frac{Cp(Tp)+Cf(Tf).H(Tp)}{tp+Tp} \quad \text{.....(2.27.)}$$

Dimana : a. Cf = Ongkos Penggantian Kerusakan

b. Cp = Ongkos Penggantian Pencegahan

c. Tf = Waktu Penggantian Kerusakan

d. Tp = Waktu Penggantian Pencegahan

e. tp = Interval Waktu Penggantian

f. H(tp) = Ekspektasi jumlah kerusakan dalam interval waktu (0,Tp)

2.11.2 Model *Age Replacement*

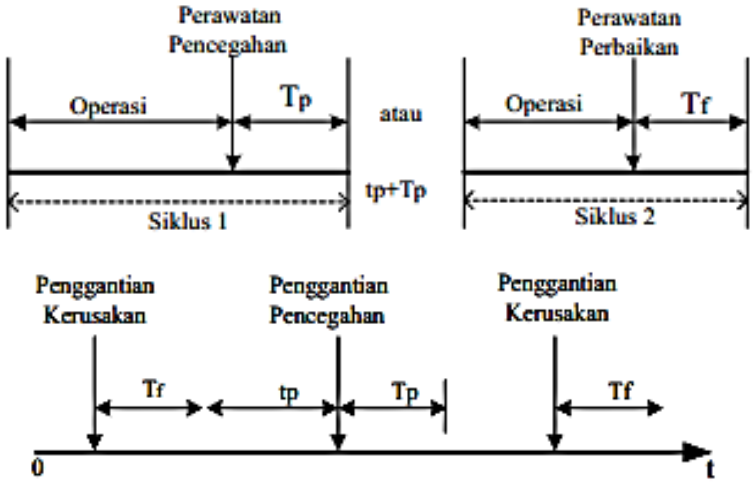
Model *Age Replacement* adalah suatu model penggantian dimana interval waktu penggantian komponen dilakukan dengan memperhatikan umur pemakaian dari komponen tersebut, sehingga dapat menghindari terjadinya penggantian peralatan yang masih baru dipasang akan diganti dalam waktu yang *relative* singkat. Jika terjadi suatu kerusakan, model ini akan menyesuaikan kembali jadwalnya setelah penggantian komponen dilakukan, baik akibat terjadi kerusakan maupun hanya bersifat sebagai perawatan pencegahan.

Model ini cocok diterapkan terhadap komponen yang interval waktu penggantiannya relatif tidak mempengaruhi umur komponen lainnya atau komponen yang penggantiannya sekaligus artinya bahwa model ini berlaku jika ada kerusakan komponen dalam satu set mesin maka hanya satu komponen yang rusak saja yang mengalami penggantian. Dalam model *Age Replacement*, intinya pada saat dilakukan penggantian adalah tergantung pada umur komponen, jadi penggantian pencegahan akan dilakukan dengan menetapkan kembali interval waktu penggantian berikutnya sesuai dengan interval yang telah ditentukan.

Model *Age Replacement* ini mempunyai dua siklus penggantian pencegahan, yaitu:

1. Siklus 1 atau siklus pencegahan yang diakhiri dengan kegiatan penggantian pencegahan, ditentukan melalui komponen yang telah mencapai umur penggantian sesuai rencana.
2. Silkus 2 atau siklus kerusakan yang diakhiri dengan kegiatan kerusakan, ditentukan melalui komponen yang telah mengalami kerusakan sebelum mencapai waktu penggantian yang telah ditetapkan sebelumnya.

Kedua siklus model *age replacement* dapat dilihat pada gambar 2.16.



Gambar 2.16 Model *age replacement* (Jardine, 1973)

Bentuk dari model ini adalah:

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

Ekspektasi Panjang Siklus = (Panjang siklus 1 × Probabilitas siklus 1) +
(Panjang Siklus 2 × Probabilitas siklus 2)

$$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))} \quad \ldots\ldots\ldots\