Bab 2
Tinjauan Pustaka

2.1. Perawatan (*Maintenance*)

2.1.1. Pengertian Perawatan

Maintenance adalah suatu kegiatan pencegahan dan mempertahankan keandalan suatu fasilitas atau benda sehingga ketika dibutuhkan, benda atau fasilitas tersebut dapat digunakan dalam kondisi yang baik ketika digunakan.

Sedangkan menurut para ahli perawatan (*maintenance*) adalah :
Menurut Corder, A.S (1998, p1) *maintenance* adalah suatu kombinasi dari berbagai tindakan yang dilakukan untuk menjaga suatu barang, atau memperbaikinya sampai suatu kondisi yang bisa diterima. Menurut Assauri (2008, p134), perawatan merupakan kegiatan untuk memelihara atau menjaga fasilitas atau peralatan pabrik dengan mengadakan perbaikan atau penyesuaian atau penggantian yang diperlukan supaya tercipta suatu keadaan operasional produksi yang memuaskan sesuai dengan apa yang telah direncanakan. Menurut Supandi, (1999, p25), perawatan adalah suatu konsepsi dari semua aktivitas yang diperlukan untuk menjaga atau mempertahankan kualitas peralatan agar dapat berfungsi dengan baik seperti dalam kondisi sebelumnya.

Aktivitas pemeliharaan dalam perusahaan sangat diperlukan karena :

1. Setiap peralatan mempunyai umur penggantian (*useful life*) dimana suatu saat dapat mengalami kegagalan atau kerusakan.
2. Kerusakan (*failure*) dari suatu peralatan atau mesin tidak dapat diketahui secara pasti.
3. Manusia selalu berusaha untuk meningkatkan umur pengguna dengan melakukan pemeliharaan (*maintenance*).

Peranan perawatan (*maintenance*) yang sangat penting dalam kegiatan produksi dari suatu perusahaan sangat berpengaruh terhadap kelancaran dan kemacetan produksi, *volume* produksi, serta produk dapat diproduksi dan diterima konsumen tidak mengalami keterlambatan dan menjaga agar tidak terdapat sumber daya (mesin dan karyawan) yang menganggur karena kerusakan (*breakdown*) pada mesin sewaktu proses produksi sehingga dapat meminimalkan biaya kehilangan produksi. Program perawatan mesin dan komponennya harus benar-benar direncanakan, sehingga waktu terhentinya (*downtime*) aktivitas produksi yang merugikan dapat dikurangi seminimal mungkin.

Manajemen pemeliharaan (*maintenance management*) menurut Supandi (1995, p15) adalah pengorganisasian perawatan untuk memberikan pandangan umum mengenai perawatan fasilitas produksi. Dalam usah menjaga agar setiap peralatan dan mesin dapat digunakan secara kontinu untuk berproduksi, maka kegiatan pemeliharaan yang diperlukan adalah sebagai berikut:

1. Secara kontinu melakukan pengecekan (*inspection*).
2. Secara kontinu melakukan pelumasan (*lubricating*).
3. Secara kontinu melakukan perbaikan (*reparation*).
4. Melakukan pergantian *spare-part*.

2.1.2. Tujuan Perawatan

Kegiatan dalam melakukan perawatan peralatan dan juga fasilitas mesin tentu saja memiliki beberapa tujuan. Tujuan utama dan fungsi perawatan antara lain: (Corder, p3 dan Assauri, p134)

1. Memperpanjang kegunaan aset.
2. Menjamin ketersediaan peralatan dan kesiapan operasional perlengkapan serta peralatan yang dipasang untuk kegiatan produksi.
3. Membantu mengurangi pemakaian atau penyimpangan di luar batas serta menjaga modal yang ditanamkan selama waktu yang ditentukan.

4. Menjaga kualitas pada tingkat yang tepat untuk memenuhi apa yang dibutuhkan oleh produk itu sendiri dan kegiatan produksi yang tidak terganggu.
5. Menekan tingkat biaya perawatan serendah mungkin dengan melaksanakan kegiatan perawatan secara efektif dan efisien.
6. Memenuhi kebutuhan produk dan rencana produksi tepat waktu.
7. Meningkatkan keterampilan para supervisor dan operator melalui kegiatan pelatihan yang diadakan.
8. Menghindari kegiatan perawatan yang dapat membahayakan keselamatan para pekerja.

2.1.3. Jenis – Jenis Perawatan

Kegiatan dalam perawatan dibagi menjadi dua jenis yaitu, pemeliharaan pencegahan (*preventive maintenance*) dan pemeliharaan perbaikan (*corrective maintenance*).

1. Perawatan pencegahan (*preventive maintenance*)

   Menurut Ebeling (1997, p189), *preventive maintenance* adalah pemeliharaan yang dilakukan secara terjadwal, umumnya secara periodik dimana sejumlah kegiatan seperti inspeksi dan perbaikan, penggantian, pembersihan, pelumasan, penyesuaian dan penyamaan dilakukan.

   Menurut Assauri (2008, p135), *preventive maintenance* adalah kegiatan perawatan yang dilakukan untuk mencegah timbulnya kerusakan dan menemukan kondisi yang dapat menyebabkan fasilitas atau mesin produksi mengalami kerusakan pada waktu melakukan produksi.

   Preventive maintenance sangat penting karena kegunaannya sangat penting dan efektif dalam menghadapi atau mendukung fasilitas produksi yang termasuk dalam golongan *critical unit*. Kategori komponen kritis menurut Tampubolon (2004, p521), yaitu:

a. Kerusakan fasilitas atau peralatan akan membahayakan keselamatan atau kesehatan para pekerja.
b. Kerusakan fasilitas akan mempengaruhi kualitas dari produk yang dihasilkan.
c. Kerusakan fasilitas tersebut akan menyebabkan kemacetan atau terhentinya seluruh proses produksi.
d. Modal yang ditanamkan (investasi) dalam fasilitas tersebut cukup mahal harganya.

Dalam prakteknya, proses *maintenance* yang dilakukan dalam perusahaan dapat dibedakan menjadi dua macam berdasarkan aktivitas atau kegiatannya yaitu: (Assauri, 1999, p135)

a. *Routine maintenance*

   Routine maintenance adalah kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan secara rutin, misalnya perawatan yang dilakukan setiap hari. Contoh dari *routine maintenance* adalah pelumasan (*lubrication*) atau pengecekan oli, serta bahan bakar dan melakukan pemanasan (*warming up*) dari mesin-mesin selama beberapa menit sebelum digunakan untuk produksi.

b. *Periodic maintenace*

   Periodic maintenace adalah kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan secara periodic atau dalam jangka waktu tertentu, misalnya setiap satu minggu sekali. *Periodic maintenance* juga dapat dilakukan dengan memakai lamanya jam kerja mesin atau fasilitas produksi sebagai jadwal kegiatan, misalnya setiap seratus jam pemakaian mesin sekali. Jadi sifat kegiatan *maintenance* ini tetap secara berkala dan perawatan berkala ini memiliki bobot lebih berat dibandingkan perawatan pencegahan.

Preventive Maintenance terbagi menjadi 4 kategori tugas, yaitu sebagai berikut:

1. *Time Directed Maintenance*

   Time directed maintenance merupakan kegiatan perawatan yang dilakukan berdasarkan variabel waktu. Kebijakan perawatan lain yang sesuai untuk diterapkan pada kegiatan ini adalah *periodic maintenance* dan *on condition maintenance*. *Periodic maintenance (Hard time maintenance)* merupakan kegiatan perawatan yang dilakukan secara periodik atau terjadwal. Kegiatan yang dilakukan adalah penggantian komponen secara terjadwal dengan interval waktu tertentu.

   Faktor yang mempengaruhi *periodic maintenance*:

   a. Faktor ekonomi

      Kebijakan penelitian dilakukan karena dihadapkan pada unit yang terhitung murah bila dibandingkan dengan resiko yang ditanggung dan biaya yang lebih besar bila komponen atau unit tersebut mengalami kerusakan apabila terjadi kelalaian.

   b. Faktor keamanan

      Kebijakan penggantian tidak lagi berdasarkan nilai rupiah, tetapi dihadapkan pada keadaan apabila tidak dilakukan, maka nyawa manusia menjadi taruhannya karena berhubungan erat dengan keamanan dan keselamatan manusia.

2. *On Condition Maintenance*

   On condition maintenance merupakan perawatan yang dilakukan berdasarkan kebijakan operator perawatan. Kegiatan yang dilakukan pada kondisi ini adalah *cleaning, inspection* dan *lubrication*.

3. *Condition Based Maintenance*

   Condition Based Maintenance merupakan perawatan pencegahan yang dilakukan sesuai dengan kondisi yang berlangsung dimana variabel waktu tidak diketahui secara tepat. Kebijakan yang sesuai dengan keadaan tersebut adalah *predictive maintenance*. *Predictive maintenance* merupakan suatu kegiatan perawatan yang dilakukan dengan memeriksa

dan memelihara pada saat perawatan sudah benar-benar memerlukan pemulihan ke tingkat semula. Hal ini dilakukan dengan memonitoring kondisi operasi peralatan berdasarkan data-data dan informasi.

4. *Failure Finding*

   Failure finding merupakan suatu tindakan pencegahan yang dilakukan dengan cara memeriksa fungsi yang tersembunyi (*hidden function*) secara periodik untuk memastikan kapan suatu komponen akan mengalami kerusakan.

5. *Run To Failure*

   Kegiatan ini disebut juga *no schedule maintenance* dimana kegiatan perawatan ini tidak melakukan usaha untuk mengantisipasi kerusakan. Suatu peralatan atau mesin dibiarkan bekerja hingga mengalami kerusakan kemudian dilakukan perawatan perbaikan. Kegiatan ini dilakukan jika tidak ada kegiatan pencegahan efektif yang dapat dilakukan, tindakan percegahan terlalu mahal atau dampak gagal tidak berpengaruh.

2. Perawatan perbaikan (*corrective maintenance*)

   Menurut Assauri (1999, p136), *corrective maintenance* merupakan kegiatan perawatan yang dilakukan setelah mesin atau fasilitas produksi mengalami kerusakan atau gangguan sehingga tidak dapat berfungsi dengan baik. Kegiatan *corrective maintenance* ini biasa juga disebut dengan kegiatan reparasi atau perbaikan setelah mesin mengalami kerusakan. *Corrective maintenance* ini biasanya tidak dapat direncanakan terlebih dahulu karena menunggu mesin hingga mengalami kerusakan terlebih dahulu, lalu kemudian dilakukan perbaikan agar mesin dapat beroperasi kembali.

   Corrective maintenance jauh lebih mahal biayanya dibandingan dengan *preventive maintenance*, maka sebisa mungkin harus dapat dicegah dengan melakukan kegiatan perawatan secara berkala. Selain itu juga diperlukan

pertimbangan mengenai mesin-mesin yang mahal dan termasuk dalam *critical unit* dari proses produksi dalam jangka waktu yang panjang, maka dari itu *preventive maintenance* sangat dianjurkan diterapkan di perusahaan karena lebih menguntungkan dibandingkan dengan *corrective maintenance*.

Menurut Patrick (2001, p401), *Corrective maintenance* dapat dihitung dengan *Mean Time to Repair* (MTTR) dimana *time to repair* ini meliputi beberapa aktivitas yang dibagi menjadi 3 kelompok yaitu:

a. *Preparation time*

   Preparation time merupakan waktu yang dibutuhkan untuk menemukan orang untuk mengerjakan perbaikan, waktu tempuh lokasi kerusakan dan membawa peralatan uji perlengkapan.

b. *Active maintenance time*

   Active maintenance time merupakan waktu sebenarnya yang diperlukan untuk melakukan pekerjaan tersebut. Meliputi waktu sebelum aktivitas perbaikan yang sebenarnya dimulai serta waktu yang dibutuhkan ketika kerusakan tersebut selesai diperbaiki.

c. *Delay time (logistic time)*

   Delay time merupakan waktu yang dibutuhkan untuk menunggu datangnya komponen dari mesin yang baru diperbaiki.

Pada umumnya usaha untuk mengatasi kerusakan dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

a. Meningkatkan kualitas peralatan sehingga perawatan menjadi lebih mudah.
b. Mencatat data kerusakan, kemudian meningkatkan peralatan hingga kerusakan tidak terjadi lagi.
c. Mengganti dengan komponen baru.
d. Merancang kembali komponen yang gagal.
e. Meningkatkan prosedur perawatan berkala.
f. Meninjau kembali dan merubah sistem pengoperasian.

2.1.4. Keuntungan dari Perawatan Terencana

Dalam sistem perawatan perlu adanya suatu sistem perawatan yang terencana, ini di maksudkan agar kerusakan yang akan di timbulkan oleh suatu mesin apabila mengalami kerusakan tidak terlalu berat atau besar. Adapun keuntungan dari perawatan terencana ini di antaranya adalah sebagi berikut:

1. Berkurangnya kemungkinan terjadi perbaikan atau perawatan darurat.
2. Berkurangnya waktu terhenti peralatan (*downtime*)
3. Kesiapan instalasi untuk berproduksi bertambah
4. Kegiatan kerja dalam bidang perawatan dan produksi akan lebih efisien
5. Penggantian suku cadang (*spare part*) akan berkurang dan membantu pengendalian dan penyediaan serta penyimpanan suku cadang
6. Selang waktu antar perbaikan akan bertambah lama
7. Memperbaiki efisiensi-efisiensi peralatan
8. Menjamin keandalan dalam pengendalian dan anggaran biaya
9. Memberikan informasi tentang kapan suatu peralatan harus diganti, baik berhubungan dengan umur teknis maupun umur ekonomis.

2.1.5. Elemen-Elemen Yang Berpengaruh Terhadap Perawatan

2.1.5.1. Elemen Waktu Dalam Pemeliharaan

Dalam kegiatan produksi terdapat berbagai elemen waktu yang dapat dibedakan masing-masing sebagai berikut:

1. Waktu Operasi (*Up Time*): Waktu dimana mesin berfungsi dengan baik dan dipergunakan oleh sistem untuk melakukan kegiatan.
2. Waktu Tunggu (*Delay Time*): Waktu dimana mesin berfungsi dengan baik tetapi tidak digunakan oleh sistem.
3. Waktu Rintangan (*Down Time*): Waktu dimana sistem tidak dapat digunakan akibat adanya kerusakan yang terjadi, waktu ini dapat di bagi menjadi:
    a. *Downtime* akibat penggantian pencegahan
        - Waktu pembongkaran.
        - Waktu menyiapkan komponen.
        - Waktu pemasangan.

b. *Downtime* akibat penggantian kerusakan

- Waktu membawa peralatan ke bengkel.
- Waktu pembongkaran.
- Waktu menemukan kerusakan.
- Waktu menunggu komponen pengganti.
- Waktu pemasangan komponen.
- Waktu pengujian.

2.1.5.2. Elemen Ongkos Dalam Pemeliharaan

Ongkos pemeliharaan dapat berupa ongkos langsung maupun tidak langsung.

1. Ongkos langsung, meliputi:
    - Ongkos tenaga kerja pemeliharaan.
    - Ongkos pembelian komponen penggantian.
2. Ongkos tidak langsung, meliputi:
    - Ongkos tenaga kerja produksi yang menganggur.
    - Ongkos depresiasi mesin.
    - Ongkos akibat keuntungan yang hilang.
    - Ongkos depresiasi peralatan pemeliharaan.
    - Ongkos administrasi.

2.2. Konsep – Konsep Perawatan

2.2.1. Konsep *Breakdown* dan *Downtime*

Breakdown dapat diartikan sebagai keadaan dimana mesin produksi tidak dapat digunakan dan melakukan fungsinya dengan baik sehingga dibutuhkan seorang *engineer* dalam proses perbaikannya. Sedangkan *downtime* didefinisikan sebagai waktu menganggur dimana mesin tidak dapat lagi digunakan atau beroperasi sesuai dengan kemampuannya, sehingga mesin tidak dapat menjalankan fungsinya dengan baik.

Beberapa unsur di dalam konsep *downtime*:

1. *Maintenance delay*

   Maintenance delay merupakan waktu yang diperlukan untuk menunggu ketersediaannya sumber daya *maintenance* yang akan melakukan proses perbaikan. Sumber daya *maintenance* dapat berupa teknisi, peralatan bantu, alat pengetesan dan komponen pengganti.

2. *Supply delay*

   Supply delay merupakan waktu yang dibutuhkan oleh *personel maintenance* untuk memperoleh komponen yang diperlukan dalam melakukan proses perbaikan. *Supply delay* terdiri dari *lead time* administrasi, *lead time* produksi, dan waktu transportasi komponen ke lokasi perbaikan.

3. *Access time*

   Access time merupakan waktu yang dibutuhkan untuk memperoleh akses ke komponen yang mengalami kerusakan.

4. *Diagnosis time*

   Diagnosis time merupakan waktu yang dibutuhkan untuk mengidentifikasi penyebab kerusakan yang terjadi serta mempersiapkan langkah-langkah yang diperlukan untuk memperbaiki kerusakan.

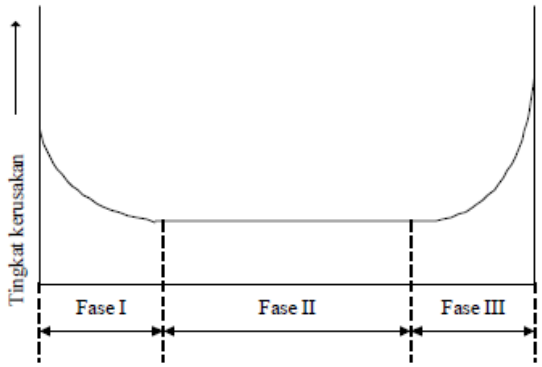
5. *Repair* atau *replacement time*

   Repair atau *replacement time* merupakan waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki mesin agar mampu menjalankan fungsinya kembali dengan baik setelah mengetahui permasalahan dan mengakses ke komponen yang rusak.

6. *Verification and alignment*

   Verification and alignment merupakan waktu yang digunakan untuk memastikan bahwa fungsi dari suatu mesin atau peralatan telah kembali seperti kondisi semula.

Menurut Ebeling (1997, p69-p71), kurva bathtub memiliki tiga area dengan karakteristik tertentu dari kegagalan atau kerusakan pada produk, mesin ataupun fasilitas sehubungan dengan waktu dapat digambarkan seperti pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. *Bathtub curve*
(Sumber: Charles Ebeling, 1997)

Dari gambar di atas kita dapat membaginya ke dalam tiga fase yaitu:

1. Fase I: Kerusakan awal (*burn-in/early failures/wear in region*)

   Wilayah dimana mesin baru mulai digunakan. Pada wilayah ini resiko kerusakan berada berada pada tingkat yang menurun. Terdapat beberapa alasan yang menyebabkan terjadinya kerusakan awal ini, diantaranya yaitu pengecekan yang tidak sesuai, pengendalian kualitas yang tidak terpenuhi, material di bawah standar, ketidaksempurnaan perancangan, kesalahan dalam pemasangan dan *set up*, kurangnya kemampuan pekerja dan *Quality Control* yang tidak memenuhi syarat.
2. Fase II: Kerusakan acak (*Random Failure*)

   Daerah ini ditandai dengan laju kerusakan yang konstan. Fase ini sering juga disebut *Usefull Life Period*. Pada wilayah ini kerusakan sulit diprediksi dan cenderung terjadi secara acak. Contoh penyebab kerusakan pada wilayah ini adalah kesalahan dalam operasional mesin oleh pekerja ataupun perubahan kondisi mesin secara tiba- tiba.
3. Fase III: Keausan (*wareout*), merupakan wilayah dimana umur ekonomis dari mesin telah habis dan melewati batas yang diizinkan. Pada fase ini resiko kerusakan akan meningkat (*increasing hazard rate*). Penyebab kerusakan pada wilayah ini umumnya adalah kurangnya perawatan, karena telah dipakai terlalu lama sehingga terjadi karat, keausan, gesekan atau perubahan pada

fisik mesin tersebut. Pada wilayah ini *preventive maintenance* sangat diperlukan untuk menurunkan tingkat kerusakan yang terjadi.

2.2.2. Konsep *Reliability* (Keandalan)

Menurut Ebeling (1997, p5), *reliability* merupakan peluang sebuah komponen atau sistem akan dapat beroperasi sesuai dengan fungsi yang diinginkan untuk suatu periode waktu tertentu ketika digunakan di bawah kondisi operasi yang telah ditetapkan.

Keandalan merupakan suatu penerapan perancangan pada komponen atau suku cadang sehingga komponen atau suku cadang tersebut dapat melakukan fungsinya dengan baik, tanpa ada kegagalan, sesuai dengan rancangan atau proses ketika dilakukan pembuatan. Keandalan merupakan probabilitas bahwa suatu sistem mempunyai kekuatan atau performansi sesuai dengan fungsi yang diharapkan dengan masa berlaku dan kondisi operasi tertentu. Namun secara umum keandalan merupakan ukuran kemampuan suatu komponen atau suku cadang beroperasi terus menerus tanpa adanya kerusakan yang dialami oleh si komponen tersebut, tindakan perawatan pencegahan (*preventive maintenance*) sangat dianjurkan karena dapat memperpanjang dan meningkatkan masa berlaku keandalan komponen tersebut.

Analisis kekuatan tekanan sering digunakan untuk mengevaluasi probabilitas dari pengidentifikasian situasi dimana nilai dari tekanan terlalu besar atau kekuatan lebih kecil dari pada nilai normal. Seperti analisis pemenuhan yang ditunjukkan oleh langkah-langkah berikut:

1. Untuk menyeleksi komponen, menentukan nominal penekanan seperti fungsi beban temperatur/ suhu, getaran, guncangan, perlengkapan fisik, waktu dan lainnya.
2. Mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat tekanan maksimum, seperti faktor penekanan konsentrasi, faktor beban statis dan dinamis, penekanan terhadap hasil pabrikasi dan perlakuan panas, faktor penekanan lingkungan dan lainnya.

3. Mengidentifikasi penekanan komponen kritis dan mengkalkulasi arti setiap penekanan kritis yang dapat direnggangkan secara maksimal dan menghilangkan penekanannya.
4. Menentukan distribusi penekanan kritis untuk masa penggunaan komponen yang sudah ditetapkan. Menganalisa parameter distribusi dan mengidentifikasi batas keamanan. Mengaplikasikan distribusi dengan asumsi distribusi normal, poisson, weibull, lognormal dan lainnya.

Terdapat 4 elemen yang signifikan dengan konsep *reliability*, antara lain:

1. *Probability* (peluang)

   Setiap komponen memiliki umur atau waktu yang berbeda antara satu dengan yang lainnya sehingga terdapat sekelompok komponen yang memiliki rata-rata kualitas atau ketahanan tertentu. Jadi untuk mengidentifikasi distribusi frekuensi dari komponen dapat dilakukan dengan cara melakukan estimasi hidup dari komponen agar diketahui umur pemakaiannya sudah berapa lama.
2. *Performance* (kinerja)

   Kehandalan merupakan suatu karakteristik yang harus dimiliki suatu sistem, dimana suatu sistem yang andal harus dapat menunjukkan performansi yang memuaskan jika dilakukan pengoperasian.
3. *Time* (waktu)

   Realibility atau kehandalan suatu sistem dapat dinyatakan dalam suatu periode waktu tertentu karena merupakan parameter yang penting untuk melakukan penilaian kemungkinan suksesnya suatu sistem. Peluang suatu *item* untuk digunakan selama satu tahun berbeda dengan peluang *item* yang digunakan dalam sepuluh tahun. Biasanya faktor waktu berkaitan dengan kondisi tertentu, seperti jangka waktu mesin selesai diperbaiki sampai mesin rusak kembali (*mean time to failue*) dan jangka waktu mesin mulai rusak sampai mesin tersebut diperbaiki (*mean time to repair*).
4. *Condition* (Kondisi)

   Perlakuan yang diterima oleh suatu sistem dalam menjalankan fungsinya dalam arti bahwa dua buah sistem dengan tingkat mutu yang sama dapat memberikan

tingkat kehandalan yang berbeda dalam kondisi operasionalnya. Misalnya kondisi temperatur, keadaan atmosfer dan tingkat kebisingan di mana sistem di operasikan.

2.2.3. Konsep *Availability* (Ketersediaan)

Availability adalah probabilitas suatu komponen atau sistem yang dapat beroperasi sesuai dengan fungsinya dalam keadaan normal apabila tindakan pencegahan dan pemeriksaan dilakukan. *Availability* total meliputi penggantian, pencegahan dan pemeriksaan dalam arti *availability* merupakan proporsi waktu teoritis yang tersedia untuk komponen dalam sistem dapat beroperasi dengan baik.

2.2.4. Konsep *Maintainability* (Keterawatan)

Menurut Ebeling (1997, p6), *maintainbility* adalah probabilitas bahwa suatu komponen atau sistem yang rusak akan diperbaiki dalam jangka waktu (T) tertentu, dimana proses perawatan dilakukan sesuai dengan ketentuan atau prosedur yang telah ditentukan.

Maintainbility sangat berhubungan dengan *availability*, karena *maintainbility* mempengaruhi tingkat *availability* secara langsung. Dalam memperbaiki kerusakan dan menyelesaikan *preventive maintenance* biasanya waktu yang ada diambil dari sistem *available state* yang ada. Jadi terdapat hubungan yang sangat erat antara *reliability* dengan *maintainbility*, dimana yang satu mempengaruhi yang lainnya dan kedua-duanya mempengaruhi *availability* dan *cost* yang ada.

2.3. Distribusi Kerusakan

2.3.1. Distribusi Eksponensial

Distribusi eksponensial digunakan untuk menghitung keandalan dari distribusi kerusakan yang memiliki laju kerusakan konstan. Distribusi ini mempunyai laju kerusakan yang tetap terhadap waktu, dengan kata lain probabilitas terjadinya kerusakan tidak tergantung pada umur alat. Distribusi ini merupakan distribusi yang paling mudah untuk dianalisa, jika terdapat peralatan atau mesin yang laju

kerusakannya terjadi secara tetap maka dapat dipastikan data kerusakan peralatan tersebut termasuk dalam distribusi eksponensial.

Parameter yang digunakan dalam distribusi eksponensial adalah parameter λ, yang menunjukkan rata-rata kerusakan yang terjadi. Berikut parameter-parameter perhitungan yang digunakan dalam distribusi eksponensial:

1. Xi = ti ..... (2.1)

2. $Y_i = \ln\left[\ln\frac{1}{1-F(t_i)}\right]$ ..... (2.2)

3. $F(ti) = \left(\frac{i-0,3}{n+0,4}\right)$ ..... (2.3)

4. Parameter : $\lambda = b = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i y_i}{\sum_{i=1}^{n} Xi^2}$ ..... (2.4)

Dimana : ti = data kerusakan ke – i
i = 1,2,3,....., n
n = jumlah kerusakan data
F(ti) = pendekatan *median rank*

2.3.2. Distribusi Weibull

Distribusi *Weibull* merupakan distribusi yang paling banyak digunakan untuk waktu kerusakan, karena distribusi ini baik digunakan untuk laju kerusakan yang meningkat maupun laju kerusakan yang menurun. Dua parameter yang digunakan dalam distribusi *Weibull* ini yaitu parameter θ yang disebut dengan parameter skala (*scale parameter*) dan parameter β yang disebut dengan parameter bentuk (*shape parameter*). Parameter β digunakan untuk menentukan laju kerusakan dari pola data yang terbentuk, sedangkan parameter θ digunakan untuk menentukan nilai tengah dari pola data yang ada. Berikut adalah langkah-langkah menentukan nilai-nilai parameter dari distribusi *Weibull* dua parameter:

1. Untuk menentukan parameter α dan parameter β, dapat dilakukan dengan menggunakan cara pendekatan Linier Regresi. Misalkan $t_1, t_2, t_3, \ldots\ldots, t_n$ adalah

jumlah data dari waktu antar kerusakan sistem disusun berdasarkan urutan terkecil, untuk setiap t_i (i = 1, 2, 3,..... n) berlaku hubungan berikut:

$X_i = \ln(t_i)$ ..... (2.5)

$$Y_i = \ln\left[\ln\frac{1}{1-F(t_i)}\right] \quad \text{..... (2.6)}$$

Dimana:

$$F_{(ti)} = \frac{i-0.5}{N} \quad \text{..... (2.7)}$$

2. Setelah itu dilakukan perhitungan menggunakan metode Least Square, nilai konstanta α dan β dapat diperoleh sebagai berikut:

$$a = \frac{N\Sigma X_i.Y_i-(\Sigma X_i)(\Sigma Y_i)}{N(\Sigma Xi^2)-(\Sigma X_i)^2} \quad \text{..... (2.8)}$$

$$b = \frac{\Sigma Y_i}{N} - \beta\frac{\Sigma X_i}{N} \quad \text{..... (2.9)}$$

3. Setelah diketahui nilai dari konstanta a dan b, maka parameter distribusi Weibull dapat ditentukan yaitu:

$\alpha = e^{-\alpha/\beta}$ .....(2.10)

β = b.....(2.11)

4. Dengan penggabungan metode di atas dengan metode pengujian distribusi kerusakan maka akan didapat nilai parameter fungsi kerusakan.

Setelah mengetahui nilai-nilai parameter distribusinya, maka dapat mengetahui perhitungan fungsi distribusi dan ongkos dari perawatan dan hasil dari hasil tersebut dapat diketahui interval waktu yang tepat untuk melakukan perawatan secara optimum dan penggantian pencegahan dengan meminimasi ongkos yang terjadi.

Dalam distribusi Weibull yang menentukan tingkat kerusakan dari pola data yang terbentuk adalah parameter β. Nilai-nilai β yang menunjukkan laju kerusakan terdapat dalam tabel 2.1 (Ebeling,1997, p63):

Tabel 2.1 Nilai-nilai parameter β distribusi *weibull*
Sumber: Charles E. Ebeling, 1997

Nilai	Sifat Distribusi
$0 < \beta < 1$	*Decreasing Failure Rate (DFR)*
$\beta = 1$	*Constant Failure Rate (CFR)*
$1 < \beta < 2$	*Increasing Failure Rate (IFR), concave*
$\beta = 2$	*Rayligh Distribution (LFR)*
$\beta > 2$	*Increasing Failure Rate (IFR), convex*
$3 \leq \beta \leq 4$	*Increasing Failure Rate (IFR), approaches normal distribution*

Efek β terhadap distribusi ini adalah bentuk kurva kerusakan:

- Untuk beberapa nilai yang berbeda $\beta < 1$, berarti *Probability Density Function* (PDF) atau Fungsi Kepadatan Probabilitas sama dengan eksponensial.
- Untuk nilai β yang besar $\beta \geq 3$, Berarti Fungsi Kepadatan Probabilitas berbentuk simetris seperti distribusi normal.
- Untuk $1 < \beta < 3$, berarti PDF berbentuk miring atau tidak simetris.
- $\beta = 1$, berarti $\lambda(t)$ konstan dan distribusinya sama persis seperti eksponensial dengan $\lambda = 1/\theta$, dimana nilai θ merupakan parameter skala yang mempengaruhi nilai rata-rata dan sebaran dari distribusi tersebut.

2.3.3. Distribusi Normal

Distribusi normal cocok untuk digunakan dalam model fenomena kelelahan (*fatigue*) dan keausan (*wear out*). Parameter yang digunakan dalam distribusi normal adalah (μ) yang menunjukkan nilai tengah dan (σ) yang menunjukkan standar deviasi dari data yang ada. Karena hubungannya dengan distribusi lognormal, distribusi ini dapat juga digunakan untuk menganalisa probabilitas lognormal. Berikut parameter-parameter perhitungan yang digunakan dalam distribusi normal:

1. xi = ti .....(2.12)
2. yi = ϕ^{-1} [F(ti)] .....(2.13)
3. F(ti) = $\left(\frac{i-0,3}{n+0,4}\right)$ .....(2.14)
4. Parameter :

$$b = \frac{n\sum_{i=1}^{n} x_i y_i - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)\left(\sum_{i=1}^{n} y_i\right)}{\sum_{i=1}^{n} Xi^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)^2}$$

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^{n} y_i}{n} - b\frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}$$

$$\mu = -\frac{a}{b} \quad \text{dan} \quad \sigma = \frac{1}{b} \text{ .....(2.15)}$$

Dimana: ti = data kerusakan ke – i
i = 1,2,3,....., n
n = jumlah data kerusakan
zi = nilai dari tabel distribusi normal
F(ti) = pendekatan *median rank*

2.3.4. Distribusi Lognormal

Distribusi lognormal menggunakan dua parameter yaitu s yang menunjukkan parameter bentuk (*shape parameter*) dan tmed sebagai parameter lokasi (*location parameter*) yang merupakan nilai tengah dari suatu distribusi kerusakan. Distribusi ini dapat memiliki berbagai macam bentuk, sehingga sering di jumpai bahwa data yang sesuai dengan distribusi *Weibull* juga sesuai dengan distribusi lognormal. . Berikut parameter-parameter perhitungan yang digunakan dalam distribusi lognormal:

1. xi = ti .....(2.16)
2. yi = ϕ^{-1} [F(ti)] .....(2.17)
3. F(ti) = $\left(\frac{i-0,3}{n+0,4}\right)$ .....(2.18)
4. Parameter :

$$b = \frac{n\sum_{i=1}^{n} x_i y_i - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)\left(\sum_{i=1}^{n} y_i\right)}{\sum_{i=1}^{n} Xi^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)^2}$$

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^{n} y_i}{n} - b\frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}$$

$$s = \frac{1}{b} \quad \text{dan} \quad \sigma = t_{med} = e^{-(a.s)} \qquad \text{.....(2.19)}$$

Dimana: ti = data kerusakan ke – i

i = 1,2,3,....., n

n = jumlah data kerusakan

zi = nilai dari tabel distribusi normal

F(ti) = pendekatan *median rank*

2.4. Keandalan Tanpa *Preventive Maintenance* dan Menggunakan *Preventive Maintenance*

Preventive maintenance merupakan cara yang dapat digunakan untuk meningkatkan keandalan suatu mesin atau komponen, dengan perawatan secara berkala dapat meminimasi pengaruh *wear-out* mesin atau komponen dan dapat meningkatkan umur sistem secara signifikan. Dengan *preventive maintenance* kerusakan mesin karena usia pakai yang sudah tua dapat dikurangi dan berpengaruh dalam umur ekonomis suatu mesin atau komponen.

$$R(T) = 1 - \phi\left(\frac{1}{s} ln \frac{t}{t_{med}}\right) \qquad \text{.....(2.20)}$$

$$R(T)^n = \left[1 - \phi\left(\frac{1}{s} ln \frac{t}{t_{med}}\right)\right] \qquad \text{.....(2.21)}$$

$$R(t-nT) = 1 - \phi\left(\frac{1}{s} ln \frac{t-nt}{t_{med}}\right) \qquad \text{.....(2.22)}$$

$$Rm(t) = R(T)^n \times R(t-nT) \qquad \text{.....(2.23)}$$

Dimana: T = *Age Replacement*

n = Jumlah penggantian ke n

R(t) = Keandalan sebelum dilakukan perawatan

$R(T)^n$ = Probabilitas keandalan hingga mulai dilakukan perawatan

R(t-nT) = Probabilitas keandalan untuk waktu t-nT dari tindakan *preventive* terakhir

Rm(t) = Keandalan setelah dilakukan *Preventive Maintenance*

Menurut Ebeling (1997, p204), model keandalan berikut mengasumsikan sistem kembali ke kondisi baru setelah menjalani *preventive maintenance.* Keandalan pada saat t dinyatakan sebagai berikut:

$Rm(t) = R(t)$ untuk $0 \leq t < T$ ..... (2.24)

$Rm(t) = R(T) \cdot R(t-T)$ untuk $T \leq t < 2T$ ..... (2.25)

Dengan: T = Interval waktu penggantian pencegahan kerusakan

Rm(t)= Keandalan dari sistem dengan *preventive maintenance*

R(t) = Keandalan dari sistem tanpa *preventive maintenance*

R(T) = Peluang dari keandalan hingga *preventive maintenance* pertama

R(t-T)= Peluang keandalan antara waktu t-T setelah sistem dikembalikan pada kondisi awal pada saat T

Secara umum persamaannya adalah:

$Rm(t) = R(T)^n \cdot R(t-nT)$. untuk $nT \leq t \leq (n+1)T$, dimana n = 1,2,3,.. n ..... (2.26)

Dimana: n = Jumlah perawatan

Rm(t) = Keandalan dengan *preventive maintenance*

$R(T)^n$ = Probabilitas keandalan hingga n selang waktu perawatan

R(t-nT) = Probabilitas keandalan untuk waktu t-nT dari tindakan *preventive maintenance* yang terakhir

2.5. Rumus *Mean Time to Failure* (MTTF) dan *Mean Time to Repair* (MTTR)

Mean time to failure merupakan rata-rata selang waktu kerusakan dari suatu distribusi kerusakan. Berikut merupakan perhitungan MTTF untuk masing-masing distribusi:

1. Distribusi Eksponensial

   MTTF = $\frac{1}{\lambda}$.....(2.27)

2. Distribusi Weibull

   MTTF = $\theta.\Gamma(1+\frac{1}{\beta})$.....(2.28)

   dimana : $\Gamma(1+\frac{1}{\beta})$ didapat dari $\Gamma(x)$ = tabel fungsi Gamma

3. Distribusi Normal

   MTTF = μ.....(2.29)

4. Distribusi Lognormal

   MTTF = $tmed^{e^{\frac{s^2}{2}}}$.....(2.30)

Sementara untuk MTTR sama saja seperti rumus MTTF hanya saja pada distribusi normal dan lognormal memiliki rumus yang sama yaitu:

MTTF = $tmed^{e^{\frac{s^2}{2}}}$.....(2.31)

2.6. Penentuan Komponen Kritis

Di dalam setiap mesin pasti mempunyai komponen-komponen yang dapat menjalankan mesin tersebut. Seiring pemakaian yang terus menerus komponen-komponen tersebut mungkin akan mengalami beberapa kerusakan dan mengalami penggantian, maka dari itu kita dapat mengetahui dan memilih komponen yang paling kritis atau yang paling menjadi perhatian dari *engineer*. Dengan demikian perlu adanya pengembangan mengenai kriteria-kriteria tertentu dalam penentuan komponen kritis ini. Untuk permasalahan ini dikembangkan empat kriteria tertentu, yaitu:

1. Suku cadang yang harganya mahal.
2. Frekuensi kerusakan atau penggantian yang sangat sering, serta
3. Secara teknis komponen yang dipilih dapat menimbulkan kerusakan pada komponen lain.