

## BAB 2

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Metode *Synchronous Servicing*

Secara umum hubungan manusia dan mesin dapat berbentuk salah satu dari tipe berikut (Wignjosoebroto,S., 2000. Ergonomi Studi Gerak dan Waktu, halaman 153):

- *Synchronous servicing.*
- *Completely random servicing.*
- Kombinasi *Synchronous* dan *Completely random servicing*

Penugasan seorang operator untuk menangani lebih dari satu mesin dalam kondisi yang ideal akan menghasilkan bentuk hubungan kerja manusia-mesin yang sinkron. Di sini manusia (operator) dan mesin-mesin yang dilayani masing-masing akan melaksanakan aktivitasnya secara penuh dalam siklus waktu yang tersedia. Kondisi ideal dalam hubungan aktivitas manusia mesin ini dikenal dengan *synchronous servicing* (meskipun dalam praktek kondisi “ideal” semacam ini jarang bisa diaplikasikan). Metode kuantitatif dalam hal ini bisa diaplikasikan untuk menganalisa dan menetapkan keputusan yang seharusnya diambil. Prosedur awal untuk menentukan jumlah mesin adalah dengan menentukan jumlah mesin dibawah

kondisi yang realistis atau dengan kata lain menentukan jumlah mesin minimal.

Prosedur dilaksanakan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

$$\bullet \quad n \leq \frac{(l+m)}{(l+w)} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

$n$  = Jumlah mesin minimal.

$l$  = Lamanya operator mengoperasikan mesin (menit)

$m$  = Lamanya mesin *running* (menit)

$w$  = lamanya perpindahan operator dari satu mesin ke mesin lain (menit)

- Dari formulasi diatas terlihat bahwa siklus waktu dimana operator melayani mesin sejumlah  $n$  adalah sebesar  $l + m$  karena dalam kasus ini operator tidak akan disibukan selama seluruh siklus-siklus waktu berlangsung, sedangkan fasilitas kerja (mesin) yang dilayani disisi lain justru akan terus bekerja (tanpa *idle*) selama siklus kerja berlangsung. Dengan menggunakan harga  $n$  untuk jumlah mesin yang harus dilayani, maka total biaya yang diekspektasikan (TEC) untuk  $n_1$  mesin dapat dihitung sebagai berikut :

$$TEC_{n_1} = \frac{(l+m)(K_1 + n_1 K_2)}{n_1} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

$K_1$  = Ongkos operator (Rp / menit)

$K_2$  = Ongkos operasional mesin (Rp / menit)

- Setelah biaya total yang diekspektasikan (TEC) untuk sejumlah  $n_1$  mesin dihitung, maka hal tersebut harus dibandingkan dengan biaya bilamana operator harus melayani sejumlah  $n_2$  mesin yaitu pembulatan keatas dari harga  $n$ . Dalam kasus ini siklus waktu kerja akan diatur oleh siklus kerjanya operator karena disini akan terjadi beberapa mesin *idle*. Dengan mengoperasikan  $n_2$  mesin untuk dilayani oleh seorang operator, maka total biaya yang diekspektasikan dapat dihitung dengan formulasi sebagai berikut :
- $TEC_{n_2} = (l+w)(K_1 + n_2 K_2) \dots \dots \dots (2.3)$
- Dengan membandingkan harga  $TEC_{n_1}$  dan  $TEC_{n_2}$  maka pemilihan jumlah mesin yang sebaiknya dioperasikan akan sangat ditentukan oleh harga TEC yang paling minimal.

## 2.2 Metode *Random Servicing*.

Situasi yang bisa dijumpai dalam hubungan manusia- mesin yang ideal jelas akan sangat berbeda bila dibandingkan dengan hubungan manusia-mesin yang ”*completely random servicing*”. Dalam kasus ini banyak hal yang tidak diketahui berkaitan dengan kapan suatu fasilitas memerlukan pelayanan dan berapa lama pelayanan terhadap fasilitas tersebut berlangsung. Disini kapan dan berapa lama pelayanan harus diberikan oleh seorang operator akan berlangsung secara acak (*random*). Harga rata-rata memang biasanya kan diketahui dan dalam analisis untuk menentukan berapa jumlah fasilitas (mesin) yang bisa ditangani oleh operator akan

mengikuti probabilitas 0,1,2,3....n buah mesin yang "down" (dimana harga n yang mengalami *down* dalam hal ini relatif kecil). Diasumsikan untuk setiap mesin akan berhenti (*down*) yang kejadiannya berlangsung secara acak selama hari kerja dan probabilitas mesin akan tetap jalan atau beroperasi adalah sebesar p, sedangkan probabilitas mesin akan berhenti (*down*) sebesar q. dimana  $p + q = 1$ . Persamaan probabilitas tersebut dapat digambarkan dalam bentuk model persamaan probabilitas sebagai berikut (Wignjosoebroto,S., 2000. Ergonomi Studi Gerak dan Waktu, halaman 157):

$$\bullet \quad P(m \text{ of } n) = \frac{n!}{m!(n-m)!} p^m q^{n-m} \dots\dots\dots(2.4)$$

- Dimana : p = peluang mesin mengalami *down*

$q = 1 - p$  , waktu operator untuk melayani mesin tersebut.

$n =$  jumlah mesin

Perhitungan yang sama dapat dibuat untuk pengoperasian mesin dalam jumlah yang lebih besar atau kurang guna menetapkan pengoperasian yang paling efisien dalam hal *downtime* mesin yang terkecil. Pengaturan yang baik disini biasanya dilakukan dengan pertimbangan TEC per unit produk yang paling kecil (minimal), dimana dalam hal ini bisa dihitung dengan formulasi sebagai berikut :

$$\bullet \quad TEC = \frac{K_1 + nK_2}{R} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

$K_1 =$  Ongkos operator (Rp / menit)

$K_2$  = Ongkos operasional mesin (Rp / menit)

$R$  = Jumlah produk yang dihasilkan dari  $n$  buah mesin

## 2.3 Regresi dan Korelasi

### ➤ Regresi

Regresi dalam **statistika** adalah salah satu metode untuk menentukan tingkat pengaruh suatu **variabel** terhadap variabel yang lain. Variabel yang pertama disebut dengan bermacam-macam istilah: variabel penjelas, variabel eksplanatorik, variabel independen, atau secara bebas, variabel X (karena seringkali digambarkan dalam grafik sebagai absis, atau sumbu X). Variabel yang kedua adalah variabel yang dipengaruhi, variabel dependen, variabel terikat, atau variabel Y. Kedua variabel ini dapat merupakan variabel acak (random), namun variabel yang dipengaruhi harus selalu variabel acak. Analisis regresi adalah salah satu analisis yang paling populer dan luas pemakaiannya. Hampir semua bidang ilmu yang memerlukan analisis sebab-akibat boleh dipastikan mengenal analisis ini. Analisis ini pertama kali dipergunakan oleh **Karl Pearson**, seorang matematikawan dan penyokong ide *eugenetika*, untuk menganalisis hubungan antara sifat orang tua dan anaknya. (<http://id.wikipedia.org/wiki/Regresi>)

### ➤ Regresi

Dalam teori probabilitas dan statistika, korelasi, juga disebut koefisien korelasi, adalah nilai yang menunjukkan kekuatan dan arah hubungan linier antara

dua peubah acak (random variable). Koefisien korelasi berkisar antara nilai  $-1 < r < +1$  Salah satu jenis korelasi yang paling populer adalah koefisien korelasi momen-produk Pearson, yang diperoleh dengan membagi kovarians kedua variabel dengan perkalian simpangan bakunya. Meski memiliki nama *Pearson*, metode ini pertama kali diperkenalkan oleh *Francis Galton*. (<http://id.wikipedia.org/wiki/Regresi>)

#### 2.4 Definisi Pemeliharaan

Pengertian pemeliharaan adalah kegiatan menjaga fasilitas-fasilitas dan peralatan pabrik serta mengadakan perbaikan atau penyesuaian yang diperlukan agar tercapai suatu keadaan operasi produksi yang memuaskan dan sesuai dengan yang direncanakan (Sofyan Assauri. 1993. Manajemen Produksi dan Operasi, halaman 88). Pengertian lain dari pemeliharaan atau perawatan (*maintenance*) adalah suatu kombinasi dari berbagai tindakan yang dilakukan untuk menjaga suatu barang atau memperbaikinya, sampai pada suatu kondisi yang bisa diterima (*Antony Corder*. 1996. Teknik Manajemen Pemeliharaan, hal 1). Sedangkan menurut *Masaaki Imai* dalam bukunya yang berjudul “*GEMBA KAIZEN*” definisi pemeliharaan berkaitan dengan kegiatan untuk memelihara teknologi, sistem manajerial, standar operasional yang ada, dan menjaga standar tersebut melalui pelatihan serta disiplin.

Sehingga pengertian dari maintenance dapat didefinisikan sebagai, suatu usaha untuk mempertahankan dan menjaga suatu peralatan dan fasilitas atau system, tetap berada dalam kondisi aman, ekonomis, efisien dan pengoperasian yang optimal.

Tetapi menurut istilah "pemeliharaan" pada kenyataannya menunjuk kepada fungsi pemeliharaan secara keseluruhan yang bisa dibayangkan, dan sebagai hasilnya, kata tersebut dengan longgar digunakan dalam industri untuk menunjuk "setiap pekerjaan yang dikerjakan oleh pekerja bagian pemeliharaan". Aktivitas *maintenance* sangat diperlukan karena :

- ✓ Setiap peralatan mempunyai umur penggunaan (*useful life*). Suatu saat dapat mengalami kegagalan/kerusakan.
- ✓ Kegiatan proses produksi sangat tergantung kepada kemampuan suatu peralatan dalam beroperasi.
- ✓ Kita tidak dapat mengetahui dengan tepat kapan peralatan akan mengalami kerusakan.
- ✓ Manusia selalu berusaha untuk meningkatkan umur penggunaan dengan melakukan perawatan (*maintenance*).

Pemeliharaan (*maintenance*) merupakan suatu fungsi dalam suatu perusahaan yang sama pentingnya dengan fungsi-fungsi lainnya seperti produksi. Karena apabila terjadi kerusakan atau kegagalan fungsi pada peralatan akan menyebabkan kelancaran atau kemacetan produksi, serta kelambatan dan volume produksi. Karena pentingnya aktivitas pemeliharaan maka diperlukan perencanaan yang matang untuk menjalankannya, sehingga terhentinya proses produksi akibat mesin rusak dapat dikurangi seminimum mungkin.

*Maintenance* berperan penting dalam menentukan kegiatan produksi suatu perusahaan yang menyangkut kelancaran atau kemacetan produksi, agar produk dapat diproduksi dan diterima oleh konsumen dengan tepat waktu, dan menjaga agar tidak terdapat sumber daya kerja (mesin dan karyawan) yang menganggur karena terhentinya peralatan pada proses produksi sehingga dapat meminimalkan biaya kehilangan produksi atau bila mungkin biaya tersebut dapat dihilangkan.

Pemeliharaan yang baik akan mengakibatkan kinerja perusahaan meningkat, kebutuhan konsumen dapat terpenuhi tepat waktu, serta nilai investasi yang dialokasikan untuk peralatan dan mesin dapat diminimasi. Selain itu pemeliharaan yang baik juga dapat meningkatkan kualitas produk yang dihasilkan dan mengurangi *waste* yang berarti mengurangi ongkos produksi.

## **2.5 Tujuan Pemeliharaan**

Tujuan dari pemeliharaan adalah untuk memelihara kemampuan sistem selain untuk mengendalikan biaya. Sistem pemeliharaan yang baik menghindari keragaman, sistem-sistem didesain, serta dikembangkan dan dipelihara untuk memperoleh performa dan standar kualitas yang diharapkan.

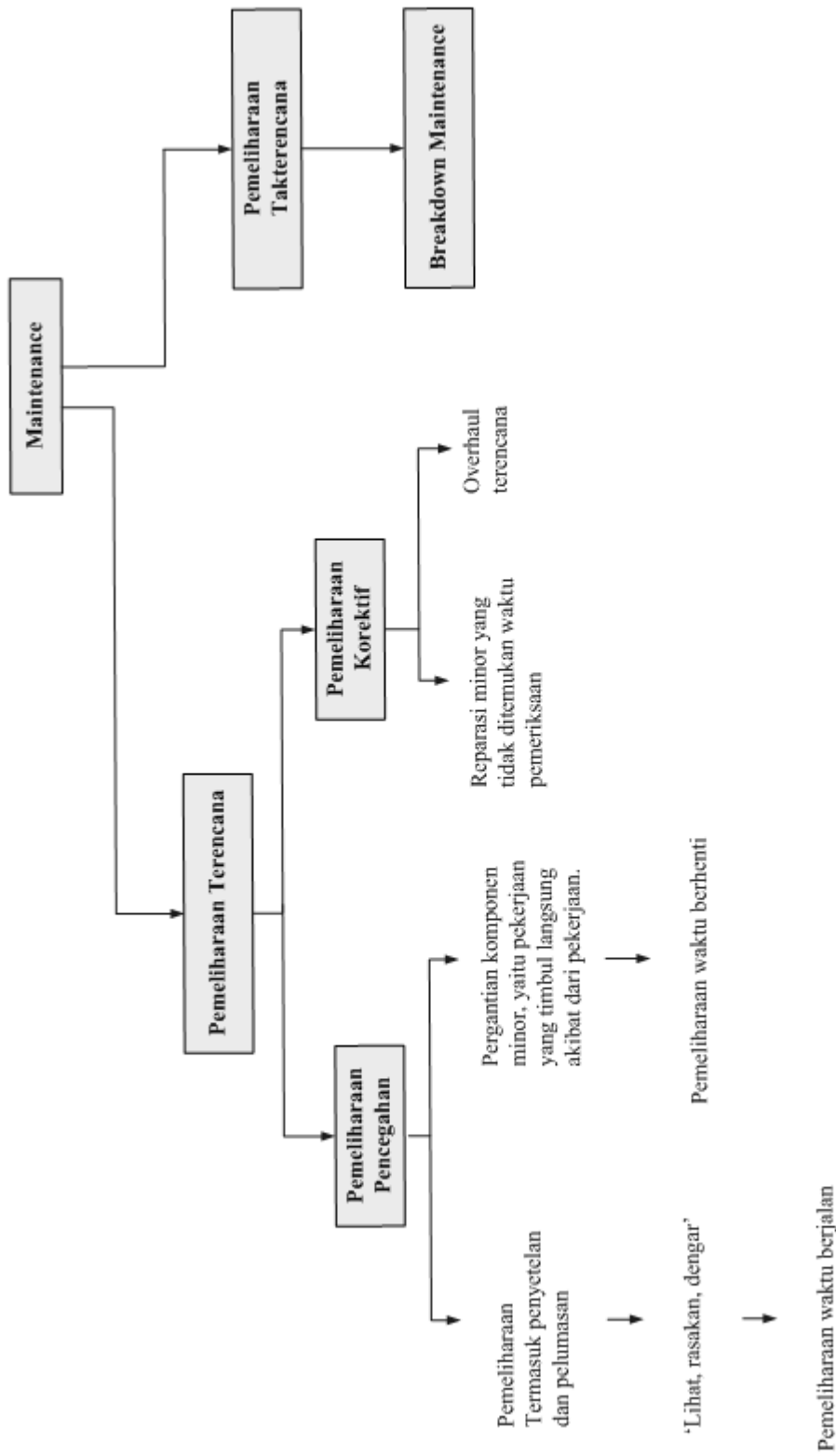
Kegiatan pemeliharaan peralatan dan fasilitas mesin tentu memiliki tujuan. Tujuan utama dari fungsi perawatan adalah (*Antony Corder*. 1996. Teknik Manajemen Pemeliharaan, hal 3) dan (*Sofyan Assauri*. 1993. Manajemen Produksi dan Operasi, halaman 89) :



1. Memperpanjang usia kegunaan peralatan dan fasilitas
2. Menjamin ketersediaan peralatan dan kesiapan operasional perlengkapan serta peralatan yang dipasang untuk kegiatan produksi (*reliability*).
3. Membantu mengurangi pemakaian atau penyimpangan diluar 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 maintenance yang dapat membahayakan keselamatan para pekerja.
9. Mengadakan suatu kerjasama yang erat dengan fungsi-fungsi utama lainnya dari suatu perusahaan, dalam rangka untuk mencapai tujuan utama perusahaan yaitu tingkat keuntungan (*return of investment*) yang sebaik mungkin dan total biaya yang terendah.

## 2.6 Jenis-jenis Pemeliharaan

Menurut *Corder* dalam bukunya yang berjudul "Teknik Manajemen Pemeliharaan" kegiatan pemeliharaan (*maintenance*) dapat dibedakan menjadi dua, yakni pemeliharaan terencana dan pemeliharaan yang takterencana. Hanya ada satu bentuk dari pemeliharaan takterencana yaitu pemeliharaan darurat (*berakdown maintenance*). Pemeliharaan terencana dibagi menjadi dua aktivitas yakni pemeliharaan pencegahan (*preventive maintenance*) dan pemeliharaan korektif (*corrective maintenance*). Adapula kegiatan pemeliharaan secara menyeluruh yang dikembangkan dan dipopulerkan oleh *Seiichi Nakajima* yang biasa disebut "*Total Productive Maintenance*".



Gambar 2.1 Hubungan antara berbagai bentuk pemeliharaan (Corder, Teknik Manajemen Pemeliharaan. 1996)

Sumber : Corder, Teknik Manajemen Pemeliharaan. 1996

### **2.6.1 Breakdown Maintenance**

*Breakdown maintenance* didefinisikan sebagai pemeliharaan dimana perlu segera dilaksanakan tindakan untuk mencegah akibat permasalahan pemesinan yang serius, misalnya hilangnya produksi, kerusakan besar pada peralatan, atau untuk keselamatan kerja. Dapat disimpulkan *breakdown maintenance* adalah kegiatan pemeliharaan yang dilakukan setelah terjadinya kerusakan atau terjadi kelainan pada fasilitas dan peralatan sehingga tidak dapat berfungsi dengan baik. Pada dasarnya aktivitas ini tidak tepat disebut aktivitas perawatan.

### **2.6.2 Corrective Maintenance**

Perawatan korektif merupakan studi dalam menentukan tindakan yang diperlukan untuk mengatasi kerusakan kerusakan atau kemacetan yang terjadi berulang kali. Tindakan perawatan ini bertujuan untuk mencegah terjadinya kerusakan yang sama. Pada pemeliharaan korektif, suatu rancangan peralatan diubah untuk mempergunakan bahan atau konstruksi yang berbeda sebagai usaha untuk mengurangi kerugian karena menurunnya kemampuan peralatan dan menurunkan biaya perawatan.

### **2.6.3 Preventive Maintenance**

*Preventive Maintenance* adalah pemeliharaan yang dilakukan secara terjadwal, umumnya secara periodik, dimana sejumlah tugas pemeliharaan

seperti inspeksi, perbaikan, penggantian, pembersihan, pelumasan dan penyesuaian dilaksanakan. Kegiatan *Preventive maintenance* meliputi (Ebeling, 1997, p189):

1. Melakukan pencatatan dan pengelolaan data tentang perawatan, kegagalan, dan penggunaan peralatan (dasar analisis peralatan)
2. Semua jenis kegiatan *predictive*. Termasuk inspeksi, melakukan pengukuran, inspeksi part untuk kualitas, analisis pelumas, temperature, getaran, kebisingan, pencatatan semua data dari kegiatan *predictive* untuk trend analysis
3. Perbaikan minor (30 menit) → dorongan yang besar kearah produktivitas
4. *Writing up* setiap kondisi yang memerlukan perhatian khusus → yang berpotensi kearah kegagalan
5. Penjadwalan dan pelaksanaan perbaikan yang dinstruksikan
6. menggunakan frekuensi dan severity kegagalan untuk meningkatkan *preventive maintenance task list*
7. Training dan upgrading kemampuan sistem *Preventive maintenance*

Sistem *preventive maintenance* dirancang untuk 2 tujuan :

1. Mendeteksi lokasi critical "*potential failure*"
2. Menganulir "*potential failure*"

Dengan demikian semua fasilitas produksi yang mendapatkan *preventive maintenance* akan terjamin kelancaran kerjanya dan selalu diusahakan dalam kondisi

atau keadaan yang siap untuk digunakan pada setiap proses operasi atau proses produksi. Sehingga dapat dimungkinkan untuk pembuatan suatu rencana dan *schedule* pemeliharaan dan perawatan yang cermat dan rencana produksi yang lebih tepat. *Preventive maintenance* ini sangat penting karena kegunaanya yang sangat efektif didalam menghadapi fasilitas-fasilitas produksi yang termasuk kedalam golongan “*critical unit*”. Sebuah fasilitas atau peralatan akan termasuk kedalam golongan “*critical unit*”, apabila (Assauri, hal 90) :

1. Kerusakan fasilitas atau peralatan tersebut akan membahayakan keselamatan atau keselamatan para pekerja.
2. Kerusakan fasilitas ini akan mempengaruhi kualitas dari produk yang dihasilkan.
3. Kerusakan fasilitas tersebut akan menyebabkan kemacetan seluruh proses produksi.
4. Modal yang ditanamkan (investasi) dalam fasilitas tersebut cukup mahal harganya.

Apabila *preventive maintenance* dilaksanakan pada fasilitas-fasilitas atau peralatan yang termasuk kedalam “*critical unit*”, maka tugas-tugas *maintenance* dapatlah dilakukan dengan suatu perencanaan yang intensip untuk unit yang bersangkutan, sehingga rencana produksi dapat dicapai dengan jumlah hasil produksi yang lebih besar dalam waktu yang relatif lebih singkat.

*Preventive maintenance* merupakan tindakan perawatan pencegahan dalam rangkaian aktivitas pemeliharaan dengan tujuan :

- Memperpanjang umur produktif *asset* dengan mendeteksi bahwa sebuah *asset* memiliki titik kritis penggunaan (*critical wear point*) dan mungkin akan mengalami kerusakan.
- Melakukan inspeksi secara efektif dan menjaga supaya kondisi peralatan selalu dalam keadaan sehat.
- Mengeliminir kerusakan peralatan dan hasil produksi yang cacat serta meningkatkan ketahanan mesin dan kemampuan proses
- Mengurangi waktu yang terbuang pada kerusakan peralatan dengan membuat aktivitas pemeliharaan peralatan
- Menjaga biaya produksi seminimum mungkin

Dalam prakteknya *preventive maintenance* yang dilakukan oleh suatu perusahaan pabrik dapat dibedakan atas *routine maintenance* dan *periodic maintenance* (Sofyan Assauri. 1993. Manajemen Produksi dan Operasi, halaman 90).

## **2.7 Keandalan (*Reliability*)**

Peluang sebuah komponen atau sistem akan dapat beroperasi sesuai fungsi yang diinginkan untuk suatu periode waktu tertentu ketika digunakan dibawah kondisi operasi yang telah ditetapkan. (Ebeling, 1997, p5). Menurut Patrick (2001, p7) *probabilistic reliability* merupakan probabilitas sebuah komponen atau sistem

untuk dapat beroperasi sesuai dengan fungsi yang diinginkan untuk suatu periode waktu tertentu ketika digunakan dibawah kondisi operasional tertentu. Terdapat empat elemen yang signifikan dengan konsep *reliability* diantaranya adalah :

a. Probabilitas (peluang)

Setiap item memiliki umur atau waktu yang berbeda antara satu dengan yang lainnya sehingga terdapat sekelompok item yang memiliki rata-rata hidup tertentu.

b. Kinerja kehandalan yang diharapkan (*performance*)

bahwa kehandalan merupakan suatu karakteristik performansi sistem dimana suatu sistem yang andal harus dapat menunjukkan performansi yang memuaskan jika dioperasikan.

c. Waktu (*time*)

*Reliability* dinyatakan dalam suatu periode waktu. Peluang suatu item untuk digunakan selama setahun akan berbeda dengan peluang item untuk digunakan dalam sepuluh tahun.

d. Kondisi operasioanal yang spesifik

Kondisi menjelaskan bahwa perlakuan yang diterima oleh suatu system akan memberikan pengaruh terhadap tingkat *reliability*.



## **2.8 Pemeliharaan (*Maintainability*)**

Adalah probabilitas suatu komponen atau system yang rusak akan diperbaiki atau dipulihkan kembali pada kondisi yang telah ditentukan selama periode waktu tertentu dimana dilakukan perawatan sesuai dengan prosedur yang seharusnya. Keterawatan suatu peralatan dapat didefinisikan sebagai probabilitas peralatan tersebut untuk bisa diperbaiki pada kondisi tertentu dalam periode waktu tertentu (Ebellling, hal 6)

## **2.9 *Availability* (ketersediaan)**

*Availability* adalah probabilitas komponen atau sistem dapat beroperasi sesuai dengan fungsinya pada kondisi operasi normalnya apabila tindakan perawatan 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 (1997, p254).

## **2.10 Distribusi Kerusakan**

Menurut *Eblling* Terdapat 4 macam distribusi yang digunakan agar dapat mengetahui pola data yang terbentuk, distribusi tersebut antara lain : distribusi *Weibull*, Eksponensial, Normal dan Lognormal.

### 2.10.1 Distribusi Weibull

Distribusi *Weibull* merupakan distribusi empiris yang paling banyak digunakan dan hampir muncul pada semua karakteristik kegagalan dari produk karena mencakup ketiga frase kerusakan yang mungkin terjadi pada distribusi kerusakan. Pada umumnya, distribusi ini digunakan pada komponen mekanik atau peralatan permesinan.

Dua parameter yang digunakan dalam distribusi ini adalah  $\theta$  yang disebut dengan parameter skala (*scale parameter*) dan  $\beta$  yang disebut dengan parameter bentuk (*shape parameter*). Fungsi *reliability* yang terdapat dalam distribusi *Weibull* menurut Ebeling (1997, p59) :

$$\text{Reliability function : } R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} \dots\dots\dots(2.6)$$

dimana  $\theta > 0$ ,  $\beta > 0$ , dan  $t > 0$

Dalam distribusi Weibull yang menentukan tingkat kerusakan dari pola data yang terbentuk adalah parameter  $\beta$ . Menurut pendapat Ebeling (1997, p64), perubahan nilai-nilai dari parameter bentuk ( $\beta$ ) yang menunjukkan laju kerusakan dapat dilihat dalam tabel 3.1 di bawah ini. Jika parameter  $\beta$  mempengaruhi laju kerusakan maka parameter  $\theta$  mempengaruhi nilai tengah dari pola data

Tabel 3.1 Nilai Parameter Bentuk ( $\beta$ ) Distribusi *Weibull*

Nilai	Laju Kerusakan
$0 < \beta < 1$	Laju kerusakan menurun ( <i>decreasing failure rate</i> ) $\rightarrow$ DFR
$\beta = 1$	Laju kerusakan konstan ( <i>constant failure rate</i> ) $\rightarrow$ CFR Distribusi Eksponensial
$1 < \beta < 2$	Laju kerusakan meningkat ( <i>increasing failure rate</i> ) $\rightarrow$ IFR Kurva berbentuk konkaf
$\beta = 2$	Laju kerusakan linier ( <i>linier failure rate</i> ) $\rightarrow$ LFR Distribusi <i>Rayleigh</i>
$\beta > 2$	Laju kerusakan meningkat ( <i>increasing failure rate</i> ) $\rightarrow$ IFR Kurva berbentuk konveks
$3 \leq \beta \leq 4$	Laju kerusakan meningkat ( <i>increasing failure rate</i> ) $\rightarrow$ IFR Kurva berbentuk simetris Distribusi Normal

Sumber : Ebeling, E. Charles. (1997). *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering. International Edition. McGraw Hill, Singapore.*

### 2.10.2 Distribusi Lognormal

Distribusi Lognormal menggunakan dua parameter yaitu  $s$  yang merupakan parameter bentuk (*shape parameter*) dan  $t_{med}$  sebagai parameter lokasi (*location parameter*) yang merupakan nilai tengah dari suatu distribusi kerusakan. Distribusi ini dapat memiliki berbagai macam bentuk, sehingga sering dijumpai bahwa data yang sesuai dengan distribusi Weibull juga sesuai dengan distribusi Lognormal. Fungsi *reliability* yang terdapat pada distribusi Lognormal (Ebeling, 1997, p73) yaitu:

$$Reliability\ function : R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}}\right) \dots\dots\dots(2.7)$$

dimana  $s > 0$ ,  $t_{med} > 0$  da  $t > 0$

### 2.10.3 Distribusi *Normal*

Distribusi Normal cocok untuk digunakan dalam memodelkan fenomena keausan. Parameter yang digunakan adalah  $\mu$  (nilai tengah) dan  $\sigma$  (standar deviasi). Karena hubungannya dengan distribusi Lognormal, distribusi ini dapat juga digunakan untuk menganalisa probabilitas Lognormal. Fungsi *reliability* yang terdapat dalam distribusi Normal (Ebeling, 1997, p69) yaitu :

$$\text{Reliability function : } R(t) = \Phi\left(\frac{t - \mu}{\sigma}\right) \dots\dots\dots(2.8)$$

dimana  $\mu > 0$ ,  $\sigma > 0$  dan  $t > 0$

### 2.10.4 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. Parameter yang digunakan dalam distribusi Eksponensial adalah  $\lambda$ , yang menunjukkan rata – rata kedatangan kerusakan yang terjadi. Fungsi *reliability* yang terdapat dalam distribusi eksponensial (Ebeling, 1997, p41) yaitu :

$$\text{Reliability function : } R(t) = e^{-\lambda t} \dots\dots\dots(2.9)$$

dimana  $t > 0$ ,  $\lambda > 0$

### 2.11 Index of Fit

Dalam menentukan distribusi yang hendak digunakan untuk menghitung MTTF, MTTR dan *Reliability*, proses yang harus dilakukan adalah mencari nilai  $r$  untuk masing-masing distribusi sehingga didapatkan nilai  $r$  terbesar yang kemudian akan diuji lagi menurut hipotesa distribusinya. Di bawah ini adalah rumus-rumus mencari nilai  $r$ :

#### 1. Distribusi Weibull

$$r_{weibull} = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right) \left( \sum_{i=1}^n y_i \right)}{\sqrt{\left[ n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right] \left[ n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n y_i \right)^2 \right]}} \dots\dots\dots(2.10)$$

#### Keterangan:

$$x_i = \ln(t_i)$$

$$y_i = \ln \left[ \ln \left( \frac{1}{1 - F(t_i)} \right) \right]$$

#### 2. Distribusi Normal

$$r_{normal} = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i z_i - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right) \left( \sum_{i=1}^n z_i \right)}{\sqrt{\left[ n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right] \left[ n \sum_{i=1}^n z_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n z_i \right)^2 \right]}} \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan:

$$x_i = t_i$$

$z_i = \Phi^{-1}[F(t_i)] \rightarrow$  diperoleh dari tabel  $\Phi(z)$  di lampiran

## 3. Distribusi Lognormal

$$r_{\log normal} = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i z_i - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right) \left( \sum_{i=1}^n z_i \right)}{\sqrt{\left[ n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right] \left[ n \sum_{i=1}^n z_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n z_i \right)^2 \right]}} \dots\dots\dots(2.12)$$

Keterangan:

$$x_i = \ln(t_i)$$

$z_i = \Phi^{-1}[F(t_i)] \rightarrow$  diperoleh dari tabel  $\Phi(z)$  di lampiran

## 4. Distribusi Eksponensial

$$r_{eksponensial} = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right) \left( \sum_{i=1}^n y_i \right)}{\sqrt{\left[ n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right] \left[ n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n y_i \right)^2 \right]}} \dots\dots\dots(2.13)$$

Keterangan:

$$x_i = t_i$$

$$y_i = \ln \left[ \ln \left( \frac{1}{1 - F(t_i)} \right) \right]$$

## 2.12 Uji Kebaikan Suai (*Goodness of Fit*)

Ketika suatu distribusi data waktu kerusakan telah diasumsikan sebelumnya, dimana asumsi tersebut bisa ditentukan melalui bentuk umum atau bentuk dari plot data dalam suatu grafik (bisa dalam bentuk versi *minitab*). Validitas dari asumsi distribusi dapat diketahui melalui suatu pengujian. Hasil pengujian tersebut mempunyai dua kemungkinan, yaitu asumsi bahwa distribusi bisa diterima atau ditolak.

### 2.12.1 *Mann's Test* untuk Pengujian Distribusi Weibull

Menurut Ebeling, (1997, p400-401) hipotesa untuk melakukan uji ini adalah:

$H_0$  : Data kerusakan berdistribusi Weibull

$H_1$  : Data kerusakan tidak berdistribusi Weibull

Uji statistiknya adalah :

$$M = \frac{k_1 \sum_{i=k_1+1}^{r-1} \left[ \frac{(\ln t_{i+1} - \ln t_i)}{M_i} \right]}{k_2 \sum_{i=1}^{k_1} \left[ \frac{(\ln t_{i+1} - \ln t_i)}{M_i} \right]} \dots\dots\dots(2.14)$$

$$M_i = Z_{i+1} - Z_i$$

$$Z_i = \ln \left[ -\ln \left( 1 - \frac{i - 0.5}{n + 0.25} \right) \right]$$

Keterangan:

$t_i$  = data waktu kerusakan yang ke- $i$

$X_i$  =  $\ln(t_i)$

- $r, n$  = banyaknya data  
 $M_i$  = nilai pendekatan *Mann* untuk data ke- $i$   
 $M_{\alpha, k_1, k_2}$  = nilai  $M_{\text{tabel}}$  untuk distribusi Weibull  $\rightarrow$  lihat distribusi F  
 $k_1$  =  $r/2$   
 $k_2$  =  $(r-1)/2 \rightarrow$  bil. bulat terbesar yang lebih kecil dari  $(r/2)$

Jika nilai  $M_{\text{hitung}} < M_{\text{tabel}}(\alpha, k_1, k_2) \rightarrow$  maka  $H_0$  diterima.

### 2.12.2 *Bartlett's Test* untuk Pengujian Distribusi Eksponensial

Menurut Ebeling, (1997, p399) Hipotesa untuk melakukan uji ini adalah :

$H_0$  : Data kerusakan berdistribusi Eksponensial

$H_1$  : Data kerusakan tidak berdistribusi Eksponensial

Uji statistiknya adalah :

$$B = \frac{2r \left[ \ln \left( \frac{1}{R} \right) \sum_{i=1}^r t_i - \left( \frac{1}{R} \right) \sum_{i=1}^r \ln t_i \right]}{1 + \frac{(r+1)}{6r}} \dots \dots \dots (2.15)$$

Keterangan:

$t_i$  = data waktu kerusakan ke- $i$

$r$  = jumlah kerusakan

$B$  = nilai uji statistik untuk uji *Bartlett's Test*

Jika  $X_{\frac{1-\alpha}{2}, r-1}^2 < B < X_{\frac{\alpha}{2}, r-1}^2 \rightarrow$  maka  $H_0$  diterima



### 2.12.3 Kolmogorov-Smirnov untuk Pengujian Distribusi Normal maupun

#### Lognormal

Menurut Ebeling, (1997, p402-404) Hipotesa untuk melakukan uji ini adalah :

$H_0$  : Data kerusakan berdistribusi Normal atau Lognormal

$H_1$  : Data kerusakan tidak berdistribusi Normal dan Lognormal

Uji statistiknya adalah :  $D_n = \max\{D_1, D_2\}$

Dimana,

$$\begin{aligned} \bullet \quad D_1 &= \max_{1 \leq i \leq n} \left\{ \Phi \left( \frac{t_i - \bar{t}}{s} \right) - \frac{i-1}{n} \right\} & \bullet \quad D_2 &= \max_{1 \leq i \leq n} \left\{ \frac{i}{n} - \Phi \left( \frac{t_i - \bar{t}}{s} \right) \right\} \\ \bullet \quad \bar{t} &= \sum_{i=1}^n \frac{\ln t_i}{n} & \text{dan} & \bullet \quad s^2 &= \frac{\sum_{i=1}^n (\ln t_i - \bar{t})^2}{n-1} \end{aligned}$$

#### Keterangan:

$t_i$  = data waktu kerusakan ke-i

$\bar{t}$  = rata-rata data waktu kerusakan

$s$  = standar deviasi

$n$  = banyaknya data kerusakan

Jika  $D_n < D_{\text{kritis}}$  maka terima  $H_0$ . Nilai  $D_{\text{kritis}}$  diperoleh dari table *critical value*

for Kolmogorov-Smirnov test for normality → lihat lampiran

### 2.13 Nilai Tengah dari Distribusi Kerusakan (*Mean Time To Failure*)

*Mean time to failure* merupakan rata – rata selang waktu kerusakan dari suatu distribusi kerusakan dimana rata-rata waktu ini merupakan waktu ekspektasi terjadinya kerusakan dari unit-unit identik yang beroperasi pada kondisi normal. MTTF sering digunakan untuk menyatakan angka ekspektasi  $E(t)$  dan dapat dinyatakan dengan:

$$E(t) = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt$$

Dan integral dari  $t \cdot f(t) dt$  dapat dinyatakan dengan:

$$\int_0^{\infty} t f(t) dt = -\frac{\sigma}{\sqrt{2\sigma}} \exp\left[\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] + \left[\mu \times N\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)\right] \dots\dots\dots(2.16)$$

Berikut ini adalah perhitungan nilai MTTF untuk masing – masing distribusi adalah :

- a. Distribusi *Weibull* (Ebeling, 1997, p59)

$$MTTF = \theta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \dots\dots\dots(2.17)$$

Nilai  $\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \rightarrow$  didapat dari

$\Gamma(x)$  = tabel fungsi Gamma (lihat di lampiran)

- b. Distribusi *Eksponential*

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \dots\dots\dots(2.18)$$

c. Distribusi Normal

$$MTTF = \mu \dots \dots \dots (2.19)$$

d. Distribusi *Lognormal*

$$MTTF = t_{med} \cdot e^{\frac{s^2}{2}} \dots \dots \dots (2.20)$$

### 2.14 Nilai Tengah dari Distribusi Perbaikan (*Mean Time To Repair*)

Dalam menghitung rata-rata atau penentuan nilai tengah dari fungsi probabilitas untuk waktu perbaikan, sangatlah perlu diperhatikan distribusi data perbaikannya. Penentuan untuk pengujian ini dilakukan dengan cara yang sama dengan yang sudah dijelaskan sebelumnya. Menurut Ebeling (1997, p192), MTTR diperoleh dengan rumus:

$$MTTR = \int_0^{\infty} th(t)dt = \int_0^{\infty} (1 - H(t))dt \dots \dots \dots (2.21)$$

dimana,

$h(t)$  = fungsi kepadatan peluang untuk data waktu perbaikan (TTR)

$H(t)$  = fungsi distribusi kumulatif untuk data waktu perbaikan (TTR)

Berikut ini adalah perhitungan nilai MTTR untuk masing – masing distribusi adalah :

a. Distribusi *Weibull*

$$MTTR = \theta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \dots \dots \dots (2.22)$$

Nilai  $\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \rightarrow$  didapat dari

$\Gamma(x) =$  tabel fungsi Gamma (lihat di lampiran)

b. Distribusi *Eksponential*

$$MTTR = \frac{1}{\lambda} \dots\dots\dots(2.23)$$

c. Distribusi *Normal* dan *Lognormal*

$$MTTR = t_{med} \cdot e^{\frac{s^2}{2}} \dots\dots\dots(2.24)$$

## 2.15 Model Penentuan Interval Waktu Penggantian Pencegahan Optimal

Model penentuan penggantian pencegahan berdasarkan kriteria minimasi *downtime* digunakan dengan menentukan waktu terbaik dilakukannya penggantian sehingga total *downtime* per unit waktu dapat terminimasi. Penggantian dilakukan untuk menghindari terhentinya mesin akibat kerusakan komponen. Model ini digunakan untuk mengetahui interval waktu penggantian pencegahan yang optimal sehingga meminimasi total *downtime* (Jardine, hal 94).

Ada 2 jenis model perawatan untuk penggantian yaitu sebagai berikut :

- *Block Replacement*

Jika pada selang waktu  $t_p$  tidak terdapat kerusakan, maka tindakan penggantian dilakukan pada suatu interval  $t_p$  yang tetap. Jika system rusak sebelum jangka waktu  $t_p$ , maka dilakukan penggantian kerusakan dan

penggantian selanjutnya akan tetap dilakukan pada saat  $t_p$  dengan mengabaikan penggantian perbaikan sebelumnya.

- *Age Replacement*

Dalam metode ini tindakan penggantian dilakukan pada saat pengoperasiannya sudah mencapai umur yang ditetapkan yaitu sebesar  $t_p$ . Jika pada selang waktu  $t_p$  tidak terdapat kerusakan, maka dilakukan penggantian sebagai tindakan korektif. Perhitungan umur tindakan penggantian  $t_p$  dimulai dari awal lagi dengan mengambil acuan dari waktu mulai bekerjanya system kembali setelah dilakukan tindakan perawatan korektif tersebut.

Model penentuan interval waktu penggantian pencegahan berdasarkan kriteria minimasi *downtime* yang digunakan adalah *Age Replacement* (Jardine, hal 94). Dalam penggunaan model ini perlu diketahui konstruksi modelnya yaitu :

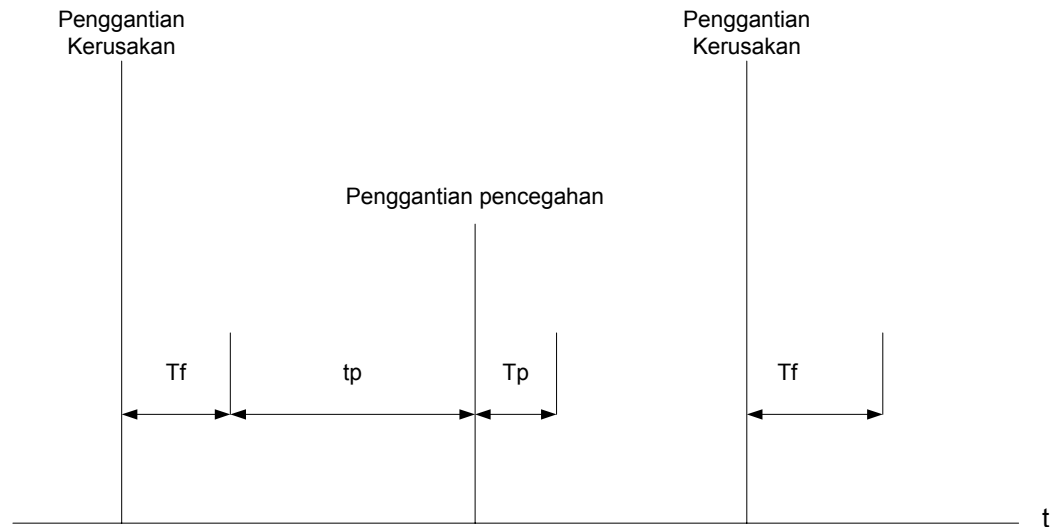
$T_f$  = *downtime* yang dibutuhkan untuk melakukan penggantian kerusakan.

$T_p$  = *downtime* yang dibutuhkan untuk melakukan penggantian pencegahan.

$f(t)$  = fungsi kepadatan probabilitas waktu kerusakan.

Pada model *Age Replacement* ini, tindakan penggantian pencegahan dilakukan dilakukan pada saat pengoperasian telah mencapai umur yang telah ditetapkan yaitu  $t_p$ . Hal ini dilakukan jika pada selang waktu  $t_p$  tidak terjadi kerusakan. Apabila sebelum waktu  $t_p$ , sistem ini tidak mengalami kerusakan maka dilakukan penggantian sebagai tindakan perawatan korektif. Penggantian selanjutnya akan dilakukan pada saat  $t_p$  dengan mengambil waktu acuan dari waktu

beroperasinya sistem setelah dilakukan tindakan perawatan korektif. Metode ini dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.2 Model Age Replacement

Total *downtime* per unit waktu untuk penggantian pencegahan pada saat  $tp$  didenotasikan dengan  $D(tp)$  yakni : (Jardine, hal 96)

$$D(tp) = \frac{\text{Total ekspektasi downtime per siklus}}{\text{ekspektasi panjang siklus}}$$

$$\text{Total ekspektasi downtime per siklus} = T_p.R(tp) + (1 - R(tp))$$

$$\text{Ekspektasi panjang siklus} = (tp + T_p).R(tp) + (M(tp) + T_f).(1 - R(tp))$$

Dengan demikian total *downtime* per unit waktu adalah :

$$D(tp) = \frac{T_p.R(tp) + (1 - R(tp))}{(tp + T_p).R(tp) + (M(tp) + T_f).(1 - R(tp))} \dots\dots\dots(2.25)$$

Dimana :

- $t_p$  = interval waktu penggantian pencegahan  
 $T_f$  = *downtime* yang terjadi karena penggantian kerusakan.  
 $T_p$  = *downtime* yang terjadi karena penggantian pencegahan  
 $F(t)$  = fungsi distribusi interval antar kerusakan yang terjadi  
 $R(t_p)$  = probabilitas terjadinya penggantian pencegahan pada saat  $t_p$   
 $M(t_p)$  = waktu rata-rata terjadinya kerusakan jika penggantian  
pencegahan dilakukan pada  $t_p$   
 $D(t_p)$  = *downtime* persatuan waktu

Sementara nilai tingkat ketersediaan (*availability*) dari interval penggantian pencegahan /  $D(t_p)$ min dapat diketahui dengan rumus  $A(t_p) = 1 - D(t_p)$ min.

## 2.16 Model Penentuan Interval Waktu Penggantian Pemeriksaan Optimal

Selain pencegahan, juga perlu dilakukan tindakan pemeriksaan yang terjadi secara tiba-tiba. Konstruksi model interval waktu pemeriksaan optimal tersebut adalah : ( Jardine, hal 108)

- $1/\mu$  = Waktu rata-rata perbaikan
- $1/i$  = Waktu rata-rata pemeriksaan

Total *downtime* per unit waktu merupakan fungsi dari frekuensi pemeriksaan ( $n$ ) dan didenotasikan dengan  $D(n)$  yakni :

$D(n)$  = *downtime* untuk perbaikan kerusakan + *downtime* untuk pemeriksaan

$$D(n) = \frac{\lambda(n)}{\mu} + \frac{n}{i} \dots\dots\dots(2.26)$$

Dimana :  $\lambda(n)$  = laju kerusakan yang terjadi

$n$  = jumlah pemeriksaan per satuan waktu

$\mu$  = berbanding terbalik dengan  $1/\mu$

$i$  = berbanding terbalik dengan  $1/i$

Diasumsikan laju kerusakan berbanding terbalik dengan jumlah pemeriksaan :

$$\lambda(n) = k/n \dots\dots\dots(2.27)$$

Dan karena : ( Jardine, hal 109 )

$$D(n) = \frac{\lambda(n)}{\mu} + \frac{n}{i} \dots\dots\dots(2.28)$$

Maka :  $\lambda(n) = -k/n^2$

$$\text{Dan : } D'(n) = -\frac{\lambda(n)}{n^2 \mu} + \frac{1}{i} \dots\dots\dots(2.29)$$

$$\text{Dimana : } \frac{1}{(1/\mu)} = \frac{\text{MTTR}}{\text{jam kerja/bln}} \dots\dots\dots(2.30)$$

Nilai  $\mu$  berbanding terbalik dengan  $1/i$  :

$$\frac{1}{(1/i)} = \frac{\text{waktu 1 x pemeriksaan}}{\text{jam kerja/bln}} \dots\dots\dots(2.31)$$

Nilai  $i$  berbanding terbalik dengan  $1/i$

Nilai  $K$  adalah nilai konstan dari jumlah kerusakan per satuan, sehingga jumlah pemeriksaan optimal dapat diperoleh :

$$n = \sqrt{\frac{k \cdot i}{\mu}} \dots\dots\dots(2.32)$$



$$\text{Interval waktu pemeriksaan ( } t_i \text{ )} = \frac{\text{jam kerja/bln}}{n}$$

Sementara nilai tingkat ketersediaan ( *availability* ) jika dilakukan "n" pemeriksaan bisa diketahui dengan rumus :  $A(n) = 1 - D(n)$ .

### **2.17 Tingkat Ketersediaan (*Availability*) Total**

Pada perhitungan *Availability* total komponen kritis bertujuan untuk mengetahui tingkat ketersediaan / kesiapan mesin untuk beroperasi kembali saat mesin tersebut telah diperbaiki.

Tingkat ketersediaan berdasarkan interval waktu penggantian pencegahan dan tingkat ketersediaan berdasarkan interval pemerisaan merupakan dua kejadian yang saling bebas dan tidak saling mempengaruhi. Sehingga berdasarkan teori peluang dua kejadian bebas, nilai peluang kejadian saling bebas sama dengan hasil perkalian kedua *availability* tersebut. ( Walpole, hal 101)

### **2.18 Reliabilitas dengan *Preventive Maintenance* dan Tanpa *Preventive Maintenance***

Peningkatan kehandalan dapat ditempuh dengan cara *preventive maintenance*. Dengan *preventive maintenance* maka pengaruh *wear-out* mesin atau komponen dapat dikurangi dan menunjukkan hasil yang cukup signifikan terhadap umur sistem. Berdasarkan sistem yang ada peningkatan tingkat keandalan ( *Reliability* ) sering dicapai dengan program *Preventive Maintenance*. *Preventive Maintenance* ini dapat

mengurangi kerusakan karena usia yang sudah tua atau sudah saatnya mengalami kerusakan ( *wear-out* ) dan mempunyai pengaruh yang besar dalam umur ekonomis suatu peralatan dan sistem (Ebeling 1997, p204), :

$$R(T) = 1 - \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}}\right) \dots\dots\dots(2.33)$$

$$R(T)^n = \left[1 - \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}}\right)\right]^n \dots\dots\dots(2.34)$$

$$R(t - nT) = 1 - \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t - nt}{t_{med}}\right) \dots\dots\dots(2.35)$$

$$R_m(t) = R(T)^n * R(t - nT) \dots\dots\dots(2.36)$$

Dimana :

T = Age Replacement

n = Jumlah Penggantian ke n

R(t) = Keandalan sebelum dilakukan perawatan ( saat ini )

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

$R(t - nT)$  = Probabilitas reliability untuk waktu t-nT dari tindakan

*preventive maintenance* yang terakhir

$R_m(t)$  = Keandalan setelah dilakukan *Preventive Maintenance*

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

$$R_m(t) = R(t) \quad \text{untuk } 0 \leq t < T \dots \dots \dots (2.37)$$

$$R_m(t) = R(T) \cdot R(t-T) \quad \text{untuk } T \leq t < 2T \dots \dots \dots (2.38)$$

Keterangan:

$T$  = interval waktu penggantian pencegahan kerusakan

$R_m(t)$  = kehandalan (*reliability*) dari sistem dengan *preventive maintenance*

$R(t)$  = kehandalan (*reliability*) dari sistem tanpa *preventive maintenance*

$R(T)$  = peluang dari kehandalan hingga *preventive maintenance* pertama

$R(t-T)$  = peluang dari kehandalan antara waktu  $t-T$  setelah sistem

dikembalikan pada kondisi awal pada saat  $T$ .

Secara umum persamaannya adalah :

$$R_m(t) = R(T)^n \cdot R(t-nT) \quad \text{untuk } nT \leq t \leq (n+1)T, \text{ dimana } n = 1, 2, 3, \dots \text{dst}$$

Keterangan:

$n$  = jumlah perawatan

$R_m(t)$  = *reliability* dengan *preventive maintenance*

$R(T)^n$  = probabilitas kehandalan hingga  $n$  selang waktu perawatan

$R(t-nT)$  = probabilitas kehandalan untuk waktu  $t-nT$  dari tindakan *preventive maintenance* yang terakhir.

Untuk laju kerusakan yang konstan :  $R(t) = e^{-\lambda t}$  maka,

$$R_m(t) = (e^{-\lambda t})^n e^{-\lambda(t-nT)}$$

$$R_m(t) = e^{-\lambda nt} \cdot e^{-\lambda t} \cdot e^{\lambda nt}$$

$$R_m(t) = e^{-\lambda t}$$

$$R_m(t) = R(t) \dots \dots \dots (2.39)$$

Berdasarkan rumus di atas, ini membuktikan bahwa distribusi *eksponensial*, yang memiliki laju kerusakan konstan, bila dilakukan *preventive maintenance* tidak akan menghasilkan dampak apapun. Dengan demikian, tidak ada peningkatan *reliability* seperti yang diharapkan, karena  $R_m(t) = R(t)$

### 2.19 Sejarah Singkat *Total Productive Maintenance* (TPM)

Pada awalnya, sistem pemeliharaan yang diterapkan di Jepang adalah *preventive maintenance* (PM), yang merupakan hasil pemikiran bangsa Amerika. Jepang kemudian mengambil konsep yang terdapat pada teknis produktivitas seperti *quality management* dan *zero defect*, serta mengembangkannya menjadi program pengembangan *Total Productive Maintenance* (TPM) yang membantu mereka menjadi produsen yang lebih efisien. Pada dasarnya konsep TPM merupakan

gabungan dari konsep *Total Quality Control* (TQC) dengan konsep *Preventive Maintenance* (PM) serta konsep *Total Employee Involvement* (TEI).

*Preventive maintenance* (PM) sendiri telah memberikan berbagai keuntungan yang menakjubkan di negara asalnya, yaitu Amerika Serikat (AS) serta berbagai negara maju lainnya. Keuntungan yang diperoleh seperti peningkatan produktivitas, efisiensi biaya, memperbaiki serta meningkatkan proses produksi. Meski demikian, ada juga beberapa perusahaan yang tidak berhasil menerapkan TPM atau mendapatkan hasil yang kurang memuaskan. Hal tersebut dikarenakan perusahaan – perusahaan tersebut hanya meniru sistem yang telah diterapkan di perusahaan – perusahaan Jepang. *Total Productive Maintenance* (TPM) akan menjadi sangat efektif jika perusahaan menyesuaikan konsep TPM dengan situasi dan kondisi lingkungan kerja, tenaga kerja, peralatan, dan anggaran atau dana yang dimiliki.

TPM merupakan suatu keberhasilan Jepang dalam memaksimalkan efektifitas dari fasilitas – fasilitas yang digunakan dalam perusahaan. TPM merupakan program pemeliharaan yang melibatkan semua pihak yang ada pada suatu perusahaan untuk saling bekerja sama dalam menghilangkan *breakdown*, mengurangi *down time*, dan memaksimalkan utilisasi, produksi, dan kualitas produk yang dihasilkan.

Seichi Nakajima, yang dikenal sebagai Bapak TPM, memperkenalkan TPM ke seluruh Jepang melalui bukunya yang kemudian menjadi buku pegangan bagi para manajer pemeliharaan dan produksi di berbagai perusahaan pada berbagai negara di dunia. Pencapaian Nakajima tersebut pertama kali diterapkan oleh sebuah perusahaan

Jepang, *Nippondenso*. Mereka melibatkan seluruh operator dalam kegiatan rutin pemeliharaan (*autonomous maintenance*), dan memberikan dasar – dasar untuk penerapan TPM yang baik (Seiichi Nakajima, 1982. TPM Development, p1)

Tahap – tahap perkembangan *Total Productive Maintenance* (TPM) tersebut dapat dijabarkan sebagai berikut :

- *Preventive Maintenance*, 1951

Pemeliharaan dilakukan dengan jadwal tertentu, baik pada mesin – mesin tertentu maupun komponen – komponen tertentu, untuk mencegah timbulnya kerusakan. Kegiatan *preventive maintenance* yang umumnya dilakukan antara lain *periodic checking and inspection, parts replacement and periodic servicing, and improvement in preventive maintenance*. Metode perawatan ini biasanya diterapkan dalam kasus di mana siklus perawatan preventif mudah dilakukan dan tidak banyak bervariasi, dan juga pada kondisi di mana penggantian parts secara berkala tanpa melaksanakan inspeksi lebih menguntungkan.

- *Corrective Maintenance*, 1957

Metode pemeliharaan yang bertujuan melaksanakan *kaizen* yang berkaitan dengan pemeliharaan mesin, di antaranya :

- a. Meningkatkan kehandalan mesin atau komponen yang memiliki daur hidup pendek.
- b. Mengurangi frekuensi kerusakan mesin.

- c. Memperpendek waktu perbaikan yang panjang atau berdampak serius atau berbiaya tinggi.
  - d. Meningkatkan kualitas perbaikan.
- *Maintenance Prevention*, 1960

Merupakan suatu kegiatan pemeliharaan yang melakukan tahap perancangan mesin dengan tujuan membuat mesin yang lebih baik dan lebih mudah perawatannya atau bahkan tidak membutuhkan perawatan sama sekali.

Ketiga konsep pemeliharaan tersebut dirangkum ke dalam suatu konsep pemeliharaan yang disebut sebagai *Productive Maintenance* (PM) yang mulai berkembang sejak tahun 1960 – an.

## **2.20 *Total Productive Maintenance* (TPM)**

Secara singkat, TPM adalah pemeliharaan produktif yang dilaksanakan oleh semua pegawai melalui kegiatan – kegiatan kelompok kecil (Nakajima). Menurut Seiichi Nakajima, suatu definisi lengkap mengenai *Total Productive Maintenance* (TPM) mencakup lima elemen berikut : :

1. Tujuan – tujuan TPM untuk memaksimalkan keefektifan peralatan (keefektifan secara keseluruhan).
2. TPM membangun suatu sistem menyeluruh dari PM untuk keseluruhan masa hidup peralatan.

3. TPM diterapkan oleh berbagai departemen (*engineering* (rekayasa), operasi, dan pemeliharaan).
4. TPM melibatkan setiap pekerja tunggal, dari top manajemen sampai para pekerja tingkat dasar.
5. TPM didasarkan pada pengembangan PM melalui *motivation management* kegiatan – kegiatan kelompok kecil yang mandiri.

Masih menurut Seiichi Nakajima, kata *Total* dalam *Total Productive Maintenance* (TPM) mempunyai tiga arti yang menguraikan keunggulan-keunggulan utama dari TPM, yaitu :

- *Total Effectiveness*  
Menunjukkan pengejaran terhadap keefesiensian ekonomi dan kemungkinan mendapatkan keuntungan.
- *Total Maintenance System*  
Mencakup *maintenance prevention* (MP) dan *maintainability improvement* (MI) dan juga *preventive maintenance*.
- Keikutsertaan Semua Pegawai Secara Menyeluruh  
Mencakup perawatan mandiri oleh para operator melalui kegiatan-kegiatan kelompok kecil.



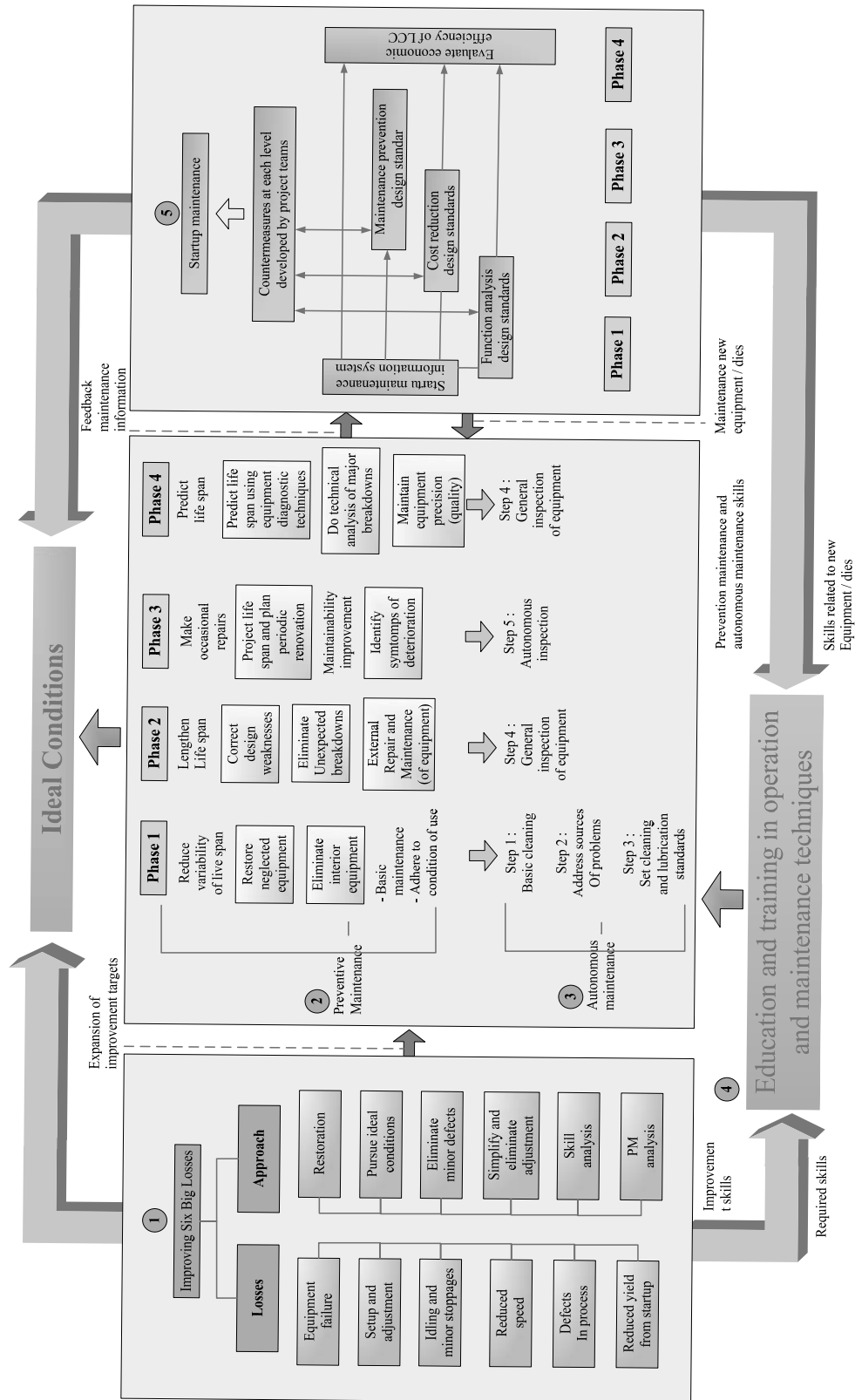
## 2.21 *Autonomous Maintenance* oleh Operator

*Autonomous maintenance* oleh operator adalah salah satu ciri khusus dari TPM (*total productive maintenance*). Semakin lama sebuah perusahaan bekerja berdasarkan struktur fungsional atau difisional menurut konsep pembagian kerja, maka pegawai perusahaan akan semakin yakin bahwa pekerjaan operator dan *maintenance* harus dipisahkan secara tegas

Tidak dapat dipungkiri bahwa pola pikir dari sebuah perusahaan tidak dapat dirubah dalam semalam. Merubah budaya dari sebuah perusahaan membutuhkan paling tidak dua sampai tiga tahun, tergantung pada besar kecilnya sebuah perusahaan. Operator biasa berpikir "*I operate—you fix*" pemikiran yang seperti itu akan mengalami beberapa kesulitan dalam proses pembelajaran, didalam *autonomous maintenance* operator harus biasa berpikir "*I'm responsible for my own equipment*" ("saya bertanggung jawab dengan peralatanku sendiri"). Seluruh tenaga kerja harus setuju bahwa operator bertanggung jawab untuk melakukan perawatan (*maintenance*) dari peralatan mereka sendiri. Untuk itu Sebelum operator diberikan tanggung jawab akan perawatan dari peralatan mereka, operator sebelumnya harus diberikan pelatihan-pelatihan agar mereka memiliki skil yang cukup untuk dapat melakukan perawatan mandiri (*autonomous maintenance*). (Seiichi Nakajima, 1982. TPM Development, p21)

Di Jepang, prinsip dasar dari petugas kebersihan pabrik mengerti tentang 5S : *seiri, seiton, seiso, seiketsu*, dan *shitsuke*. Prinsip ini sering hanya diimplementasikan

pada tingkat supervisor, disamping itu pada kenyataan perawatan dari peralatan dirasakan tidak cukup (sebagai contoh mengabaikan peralatan bagian dalam, pada bagian yang berputar seperti konekting antara gir, motor dst). Kegiatan supervisor ini dihindari dalam pelaksanaan AM dengan cara membagi pelatihan dan praktek kedalam 7 step (melibatkan seseorang dalam menerapkan prinsip dari 5S). Tugas tersebut melibatkan pada setiap langkah yang harus dikuasai secara menyeluruh sebelum operator diperkenalkan kepada langkah berikutnya. Sebagai contoh pada step pertama, *initial cleaning*, operator belajar tentang pembersihan secara menyeluruh, kekuatan tersebut adalah suatu proses pemeriksaan.



Gambar 2.3 Example of TPM Development

*Autonomous maintenance* didefinisikan sebagai keikutsertaan operator produksi dalam menangani mesin melalui pengecekan rutin, pelumasan, pendeteksian awal dari ketidaknormalan, penggantian part sampai perbaikan kecil.

*Autonomous maintenance* merupakan bagian dari *total productive maintenance* (TPM) yang melibatkan operator mesin dalam melakukan pemeriksaan rutin (*daily inspection*) dan membersihkan peralatan secara mandiri. *Autonomous maintenance* mendidik operator untuk memelihara peralatan dan membiasakan kerjasama antar tenaga kerja. Dengan penerapan *Autonomous maintenance* di lantai produksi dapat memperpanjang umur mesin, *performance rate* meningkat, *Autonomous maintenance* dapat mempertahankan efektivitas dari peralatan. Intinya *Autonomous maintenance* adalah pencegahan kerusakan peralatan,

## **2.22 *Planned Maintenance***

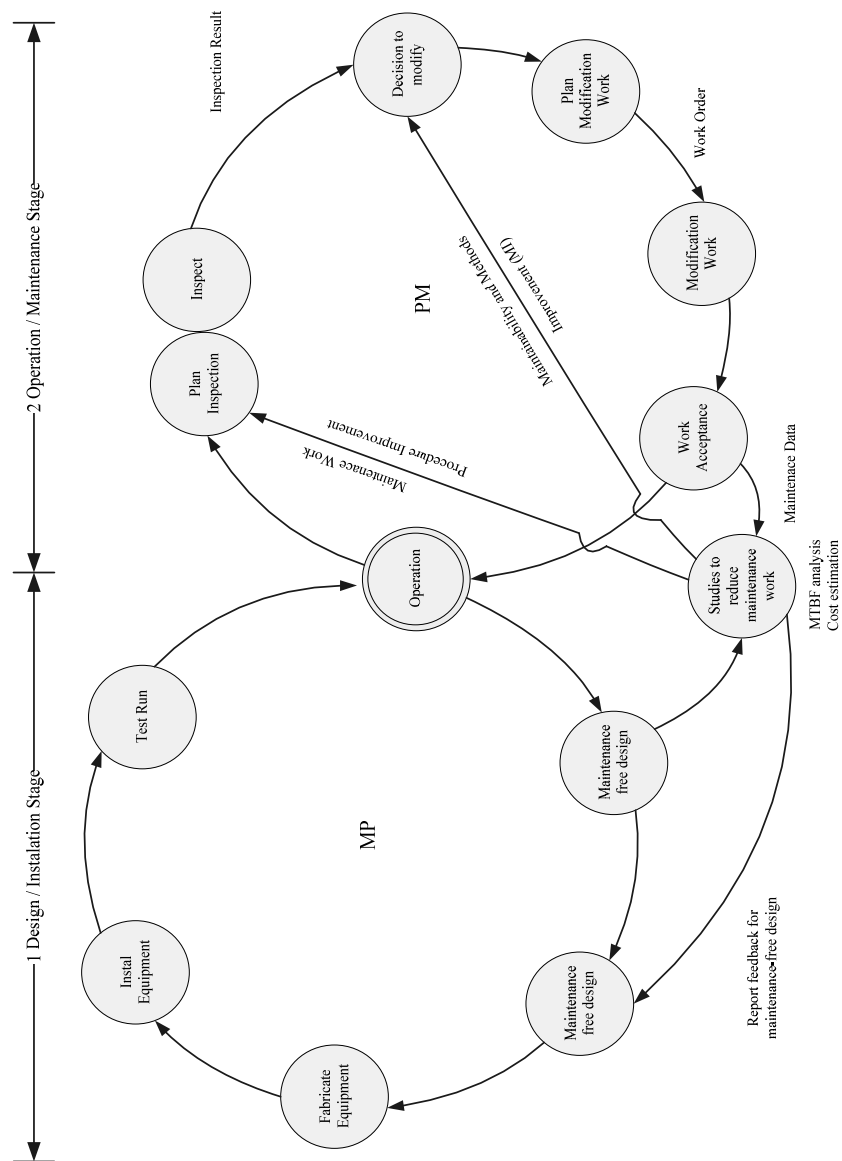
Perawatan terencana (*planned maintenance*) harus dapat dijalankan bersamaan dengan *autonomous maintenance*. Tanggung jawab pertama dari departemen *maintenance* adalah menangani permintaan dari operator secara cepat dan efektif. staf *maintenance* juga harus menghilangkan gejala ataupun kerusakan yang terjadi sebagai akibat dari pembersihan dan pelumasan pada peralatan yang kurang sempurna. Kemudian, mereka harus menganalisa setiap *breakdown* untuk memberitahukan setiap kelemahan, kejanggalan di dalam peralatan/mesin dan

memodifikasi peralatan untuk meningkatkan *maintainability* (keterawatan) dan waktu pakai suatu peralatan untuk dapat beroperasi.

Untuk menekan biaya dari perencanaan perawatan, teknik dalam mendiagnosa seharusnya digunakan untuk mengamati kondisi dari peralatan (Seichi Nakajima, 1982, p24).

### **2.23 Pelatihan untuk Meningkatkan Kemampuan Pemeliharaan dan Pengoperasian**

Beberapa orang mungkin membantah bahwa kemampuan pengoperasian dan keahlian menjadi tidak berguna ketika otomatisasi mulai ditingkatkan. Sayangnya sekali, sangat mungkin produksi dilakukan tanpa adanya manusia didalamnya, namun otomatisasi dalam melakukan perawatan (*maintenance*) sangat tidak mungkin. Keterampilan operator dan personil *maintenance* harus ditingkatkan jika *autonomous maintenance*, *predictive maintenance*, dan *maintainability*, sebagai dasar dari metode *total productive maintenance* (TPM) menuju kesuksesan dalam pencapaiannya. Pelatihan dalam pengoperasian dan keterampilan dalam pemeliharaan (*maintenance*) sangatlah penting. Untuk menerapkan TPM, perusahaan harus bersedia untuk melatih pekerjanya didalam menggunakan peralatan mereka. (Seichi Nakajima, 1982. TPM Development, p24).



Gambar 2.4 Model dari *Maintenance-Free Equipment Design*

Idealnya dari suatu peralatan tidak memerlukan perawatan (*maintenance*). Suatu sistem yang membantu kita mendekati kondisi yang sangat ideal. Gambar 2.4 menggambarkan sebuah sistem model untuk mempromosikan sebuah disain sebuah peralatan yang mampu mendekati kondisi ideal tersebut ”*maintenance-free design*”. Pada sisi sebelah kiri adalah disain dan langkah-langkah pemasangan, sebelah kanan

adalah langkah-langkah pengoperasian dan langkah-langkah perawatan. Siklus tersebut dimulai dari disain awal sebuah peralatan yang mengarah pada tujuan untuk mengurangi peran dari pemeliharaan sebanyak mungkin. Kemudian peralatan dibuat, dipasang, dan diuji terlebih dahulu sebelum masuk kedalam operasi normal. Suatu waktu ketika periode awal kegagalan dari peralatan selesai, pengoperasian data diumpun balik kepada tahap ”*maintenance-free design*”. Data ini dapat digunakan untuk mendisain sebuah peralatan yang mampu meminimalisasikan atau bahkan meniadakan peran dari perawatan peralatan (*maintenance-free design*) di masa yang akan datang. *Maintenance prevention* (MP) adalah objek dari siklus instalasi-disain, meliputi permulaan pemeliharaan peralatan.

Selama tahap operasi pemeliharaan, atas dasar pemeriksaan terjadwal secara teratur, peralatan diperbaiki, diubah, atau diganti. Data pemeliharaan dikumpulkan kedalam proses ini untuk diteliti kepada *maintenance prevention* (MP). Informasi memberi umpan balik untuk tiga tipe dari perbaikan/peningkatan(*improvement*) :

1. Peningkatan *maintainability* dari perawatan yang digunakan saat ini.
2. Untuk meningkatkan sistem dan kerja *maintenance*, dan
3. Untuk memudahkan *maintenance-free design* di dalam Peralatan baru.

## 2.24 Klasifikasi dan Alokasi Pembagian Tugas *Maintenance*

Klasifikasi dan alokasi dari aktivitas *maintenance* dimasukkan kedalam program *autonomous maintenance*. Dua aktivitas yang diperlukan untuk meningkatkan efektivitas peralatan adalah (Seiichi Nakajima, 1982. TPM Development, p166):

1. Aktivitas *maintenance* mencegah *breakdown* dan memperbaiki kerusakan peralatan yang muncul dalam suatu siklus yang terdiri dari proses produksi normal yang dikombinasikan dengan kegiatan *preventive maintenance* (contohnya perawatan harian, perawatan secara periodik, dan *predictive maintenance*) dan *corrective maintenance*.
2. Aktivitas perbaikan (*improvement activities*) dapat memperpanjang umur dari peralatan, mengurangi waktu yang diperlukan untuk melaksanakan *maintenance*, dan membuat perawatan menjadi kurang diperlukan. *Reliability* dan *maintainability improvenent, maintenance prevention*, dan desain peralatan/mesin yang tidak membutuhkan lagi campur tangan pihak perawatan, kesemua itu adalah aktivitas dari peningkatan *maintenance* (perawatan).

*Maintenance* dan *improvenent activities* harus dilaksanakan secara serempak di dalam tiga area kerusakan: *prevention* (pencegahan), pengukuran (*measurement*), dan pemugaran (*restoration*). Tujuan *maintenance* tidak dapat dicapai jika salah satu dari tiga area tersebut diabaikan. Bagaimanapun



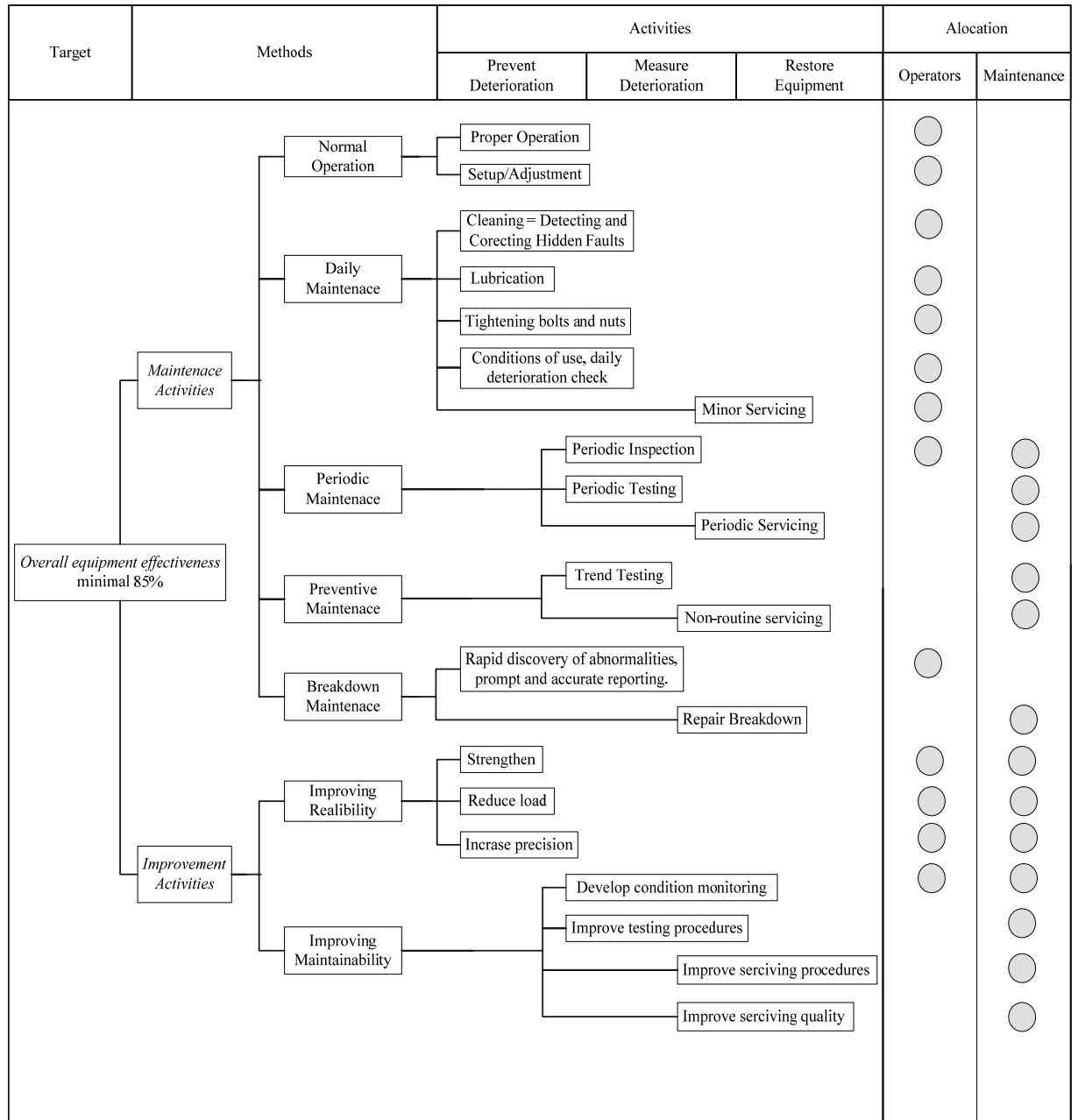
prioritas dan penggunaan metode, bisa berbeda antara satu departemen ke departemen lain maupun antar satu pabrik ke pabrik lain. Meskipun pencegahan kerusakan (*prevention deterioration*) adalah sesuatu yang sangat mendasar dari kegiatan *maintenance*, akan tetapi seringkali diabaikan. Jika tujuannya adalah efisiensi perawatan, bagaimanapun praktik yang demikian tidak memungkinkan tujuan itu tercapai.

### 3. Program untuk Departemen Produksi

Departemen produksi harus melaksanakan tiga aktivitas pencegahan kerusakan :

#### 1. *Deterioration prevention* :

- Pengoprasian peralatan dengan tepat.
- Pemeliharaan dasar kondisi peralatan seperti pembersihan (*cleaning*), pelumasan (*lubrication*), pengencangan mur dan baut (*bolting*).
- Membuat penyesuaian yang cukup (sebagian besar dilakukan saat operasi dan setup).
- Membuat catatan dari *breackdown* peralatan dan malfungsi lainnya.
- Bekerjasama dengan departemen *maintenance* untuk pembelajaran dan peningkatan penerapan.



Gambar 2.5 Klasifikasi dan alokasi pembagian tugas *maintenance*

2. *Deterioration Measurement* :

- Melakukan inspeksi harian (*conduct daily inspection*).
- Melakukan inspeksi periodik secara pasti.

### 3. *Equipment Restoration* :

- Melakukan perbaikan kecil (penggantian beberapa komponen yang sifatnya sederhana seperti karet *sea,bearaings*, klep, dll ) dan perbaikan sementara.
- Melaporkan dengan segera dan akurat tentang *breakdowns* dan malfungsi lainnya.
- Membantu dalam memperbaiki matinya mesin.

Aktivitas tersebut, terutama pemeliharaan dasar kondisi peralatan seperti pembersihan (*cleaning*), pelumasan (*lubrication*), pengencangan mur dan baut (*bolting*) dan inspeksi harian (*daily inspection*), dapat membantu mencegah terjadinya kerusakan akan tetapi aktivitas tersebut tidak hanya cukup ditujukan kepada staf *maintenance* saja. Efektivnya aktivitas tersebut dapat di tangani oleh mereka yang cukup dekat dalam kesehariannya dengan peralatan, mereka itu adalah operator.

#### **2.25 Membimbing dan Membantu Operator dengan *Autonomous Maintenance***

*Autonomous maintenance* dapat diwujudkan jika dibantu dan dibimbing dengan tepat oleh pihak *maintenance*. Pihak *maintenance* seringkali melewatkan tugas untuk mengintruksikan kepada operator dalam melakukan prosedur perawatan dalam menangani peralatan yang ditanganinya. Sebagai contoh, operator diminta untuk siap melakukan pemeriksaan harian (*daily inspection*) secara baku, tanpa

memberikan pembelajaran kepada operator mengenai metode standar pemeriksaan. Ketika *autonomous maintenance* tidak dapat berjalan dengan semestinya, staf *maintenance* perlu memikirkan kembali apakah mereka sudah cukup memberikan bimbingan dan instruksi dalam memberikan tanggung jawab pemeliharaan kepada operator. (Seichi Nakajima, 1982. TPM Development, p170)

➤ **Kegiatan Lainnya**

Kegiatan penting lainnya untuk departemen *maintenance* meliputi :

- Meneliti dan mengembangkan dari teknologi perawatan.
- Menetapkan standar perawatan.
- Menyimpan arsip pemeliharaan (*maintenance*).
- Evaluasi hasil dari kegiatan perawatan yang sudah dilakukan.
- Bekerjasama dengan *engineering* dan *equipment design* departemen.

➤ **Menetapkan Kondisi Dasar Peralatan**

Menetapkan kondisi dasar peralatan merupakan suatu kegiatan yang sangat penting dalam *autonomous maintenance*. Kegiatan ini meliputi pembersihan (*cleaning*), pelumasan (*lubrication*), dan pengencangan mur dan baut (*bolting*).

➤ *Cleaning and Cleanliness*

Kata *cleaning* (membersihkan) mengartikan menghilangkan dari kotoran, noda, debu, serpihan-serpihan, dan benda asing lainnya yang melekat pada mesin. Selam melakukan kegiatan pembersihan ini, operator juga mencari cacat tersembunyi dari peralatan untuk bertindak dalam melakukan penanganan terhadap segala kerusakan yang terjadi. Pemebersihan dilakukan sebagai upaya dalam mempertahankan, menjaga kondisi mesin agar dalam selalu dalam keadaan baik, namun pembersihan yang tidak sempurna akan menyebabkan beberapa permasalahan pada mesin. Beberapa contoh dampak dari pembersihan yang kurang sempurna :

- Partikel asing dapat masuk kedalam bagian-bagian dalam mesin, sistem hidrolik, sistem elektrik, yang akan menyebabkan keausan, penyumbatan, kebocoran, dan kegagalan dari sistim elektrik. Hal ini akan menyebabkan ketidak presisian peralatan dalam memproduksi, malfungsi peralatan sampai pada *breakdown*.
- Dalam beberapa tipe dari peralatan yang otomatis, adanya partikel asing yang masuk ke dalam bagian mesin dapat mempengaruhi aliran dari proses, yang menyebabkan malfungsi, kemacetan mesin atau tanda-tanda kesalahan dan juga ketika menunggu material/parts tiba (*idling and minor stoppages losses*).

➤ **Kegiatan Pembersihan Juga Memeriksa**

Kegiatan pembersihan yang dilakukan bukan hanya membuat peralatan atau mesin terlihat bersih, lebih dari pada itu pembersihan juga dapat dikatakan sebagai kegiatan memeriksa, karena dengan kegiatan pembersihan dilakukan dengan meraba, melihat seluruh bagian-bagian pada mesin untuk menemukan ketidaknormalan yang terjadi pada mesin seperti : getaran, panas, bunyi dengan kata lain pembersihan adalah pemeriksaan (*cleaning is inspecting*)

## 2.26 PERAWATAN MANDIRI

*Autonomous maintenance* merupakan bagian dari *total productive maintenance* (TPM) yang melibatkan operator mesin dalam melakukan pemeriksaan rutin (*daily inspection*) dan membersihkan peralatan secara mandiri. *Autonomous maintenance* bekerjasama dengan staf *maintenance* dalam merawat serta menjaga peralatan/mesin dalam kondisi yang sesuai dengan standar, agar produksi yang dihasilkan selalu memenuhi target produksi baik itu kualitas maupun kuantitas. *Atonomous maintenance* dirancang untuk melibatkan operator dalam merawat mesinya sendiri, disamping kegiatan yang dilaksanakan oleh bagian perawatan. Kegiatan tersebut antara lain :

### 1. Pembersihan

Pembersihan harus selalu dilakukan pada mesin dan area sekitar mesin, karena lingkungan yang kotor seringkali menjadi penyebab kegagalan dari

fungsi peralatan, yang biasa disebabkan oleh debu atau juga disebabkan oleh material sampingan dari proses produksi.

## **2. Pelumasan**

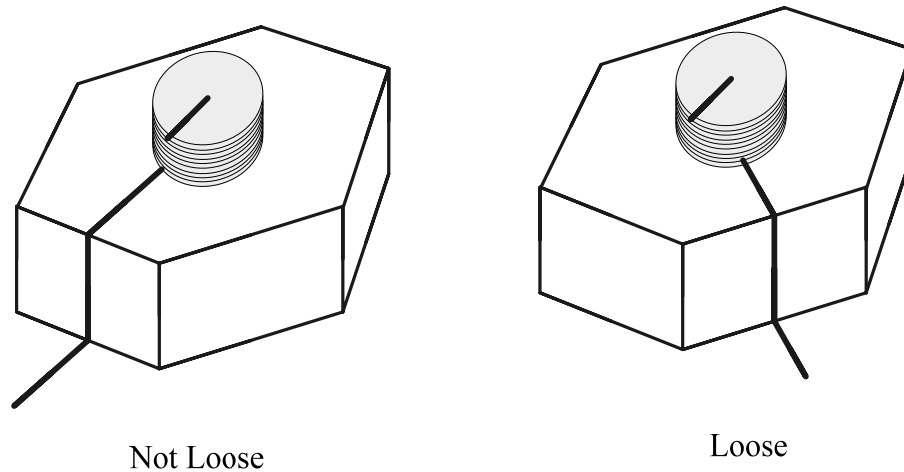
Pelumasan merupakan tindakan terpenting yang harus dilakukan kepada peralatan atau mesin untuk mencegah terjadinya penurunan dan mempertahankan kondisi mesin agar tetap dapat menghasilkan produksi yang sesuai dengan standar, meskipun pentingnya akan pelumasan sudah diketahui di kebanyakan perusahaan-perusahaan akan tetapi masih saja sering diabaikan di dalam penerapannya, alasan mengapa pelumasan masih sering diabaikan :

- Tidak sadar akan pentingnya pelumasan.
- Manajemen tidak cukup menghargai betapa pentingnya pelumasan.
- Terlalu banyaknya jenis pelumasan.
- Belum adanya satandarisasi pelumasan.
- Dan yang paling sering terjadi di kebanyakan perusahaan mengapa kegiatan pelumasan masih sering diabaikan adalah, kebijakan yang salah dari manajemen dalam meminimalkan biaya perawatan.

## **3. Pengencangan mur dan baut**

Hampir semua peralatan atau mesin menggunakan mur dan baut. Kendornya mur dan baut akan menyebabkan getaran (*Vibration*) pada mesin, yang akan mengakibatkan gangguan pada konektor-konektor mesin yang akan

menimbulkan permasalahan pada mesin sampai pada kegagalan fungsi dari peralatan atau mesin itu sendiri.



Gambar 2.6 Pengecekan pengencangan mur dan baut

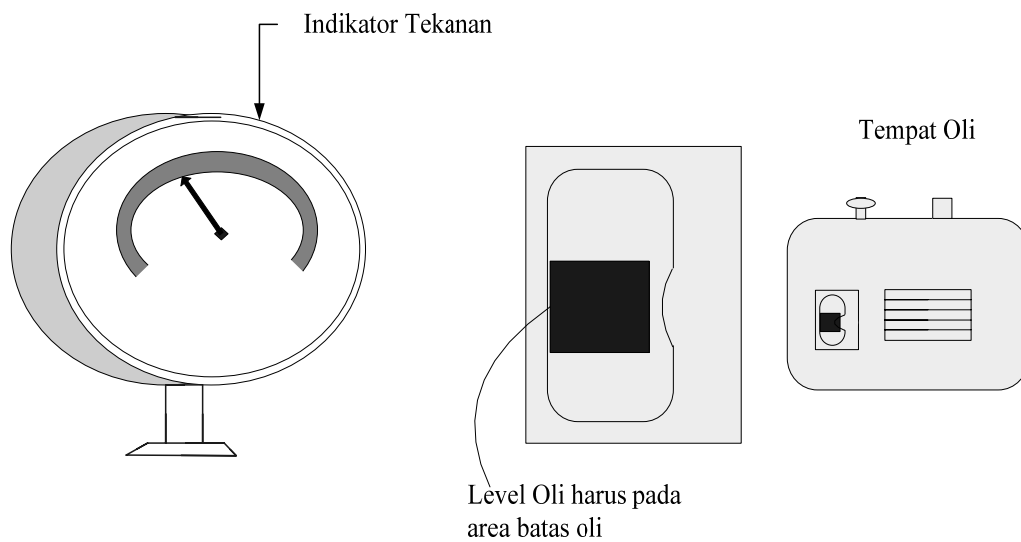
#### 4. Pengecekan harian

Pengecekan terhadap mesin dan peralatan biasa dilakukan oleh operator dan juga dari bagian perawatan (*maintenance*). Hal ini bertujuan untuk mengetahui apakah mesin tersebut dalam kondisi yang optimal dan maksimal dalam proses produksi ataukah perlu diadakan penanganan khusus karena suatu hal yang dapat mengganggu jalannya proses produksi.

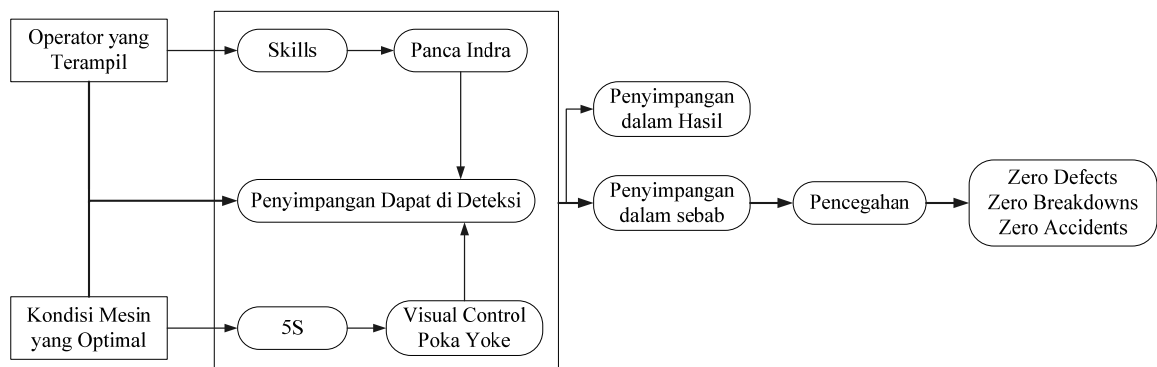
#### 5. Pendeteksian penyimpangan

Salah satu untuk mendeteksi penyimpangan mesin adalah dengan *visual control*, dengan *visual control* maka dapat diidentifikasi dari jarak jauh, dapat segera diketahui kondisi ok, dan *not ok* dari mesin, dan dapat dipahami dan dimengerti oleh setiap orang.





Gambar 2.7 Contoh *visual control* pada mesin



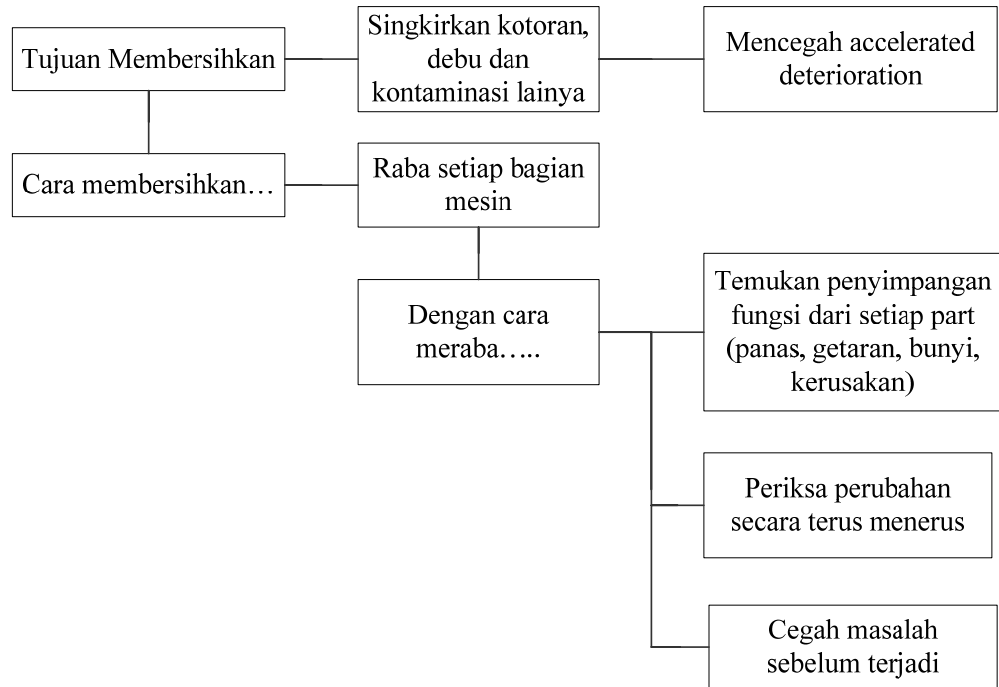
Gambar 2.8 Strategi mendeteksi kerusakan.

## 6. Reparasi sederhana

Reparasi sederhana adalah membetulkan mesin produksi atau merawat mesin tersebut dengan menjaga laju jalan produksi agar selalu konstan.

### 2.26.1 Tujuh Langkah Perawatan Mandiri

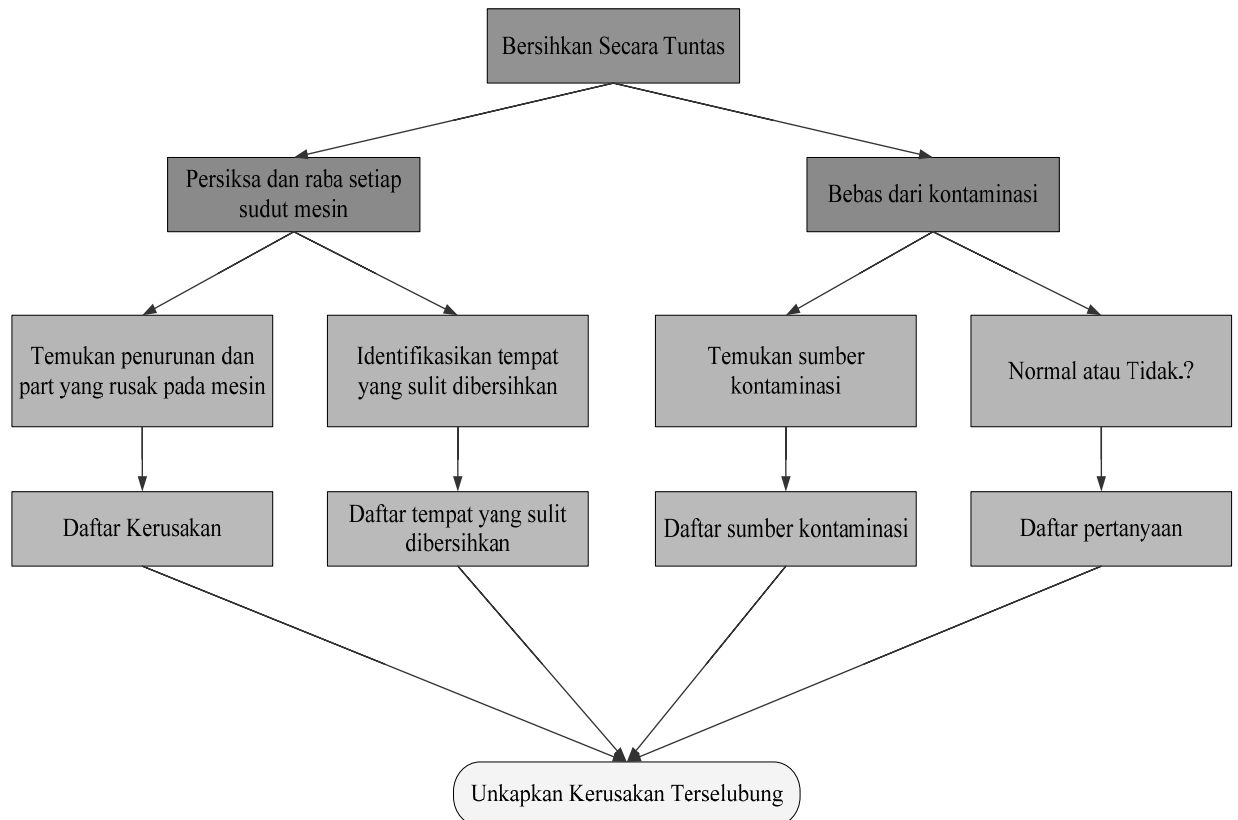
#### 1. Pembersihan awal (membersihkan adalah inspeksi)



Gambar 2.9 Membersihkan merupakan pemeriksaan

Pembersihan dilakukan untuk menjaga peralatan atau mesin dari benda asing, debu dan kotoran agar peralatan dalam kondisi selalu dalam keadaan baik untuk proses produksi. Adapun kegiatan dari pembersihan awal adalah :

- Menyingkirkan item yang tidak diperlukan dan jarang digunakan.
- Menghilangkan debu dan kotoran dari peralatan dan di sekeliling peralatan.
- Mengungkapkan permasalahan, seperti kerusakan kecil, sumber kontaminasi, dan area yang sulit dibersihkan.
- Menuliskan permasalahan pada "empat formulir".



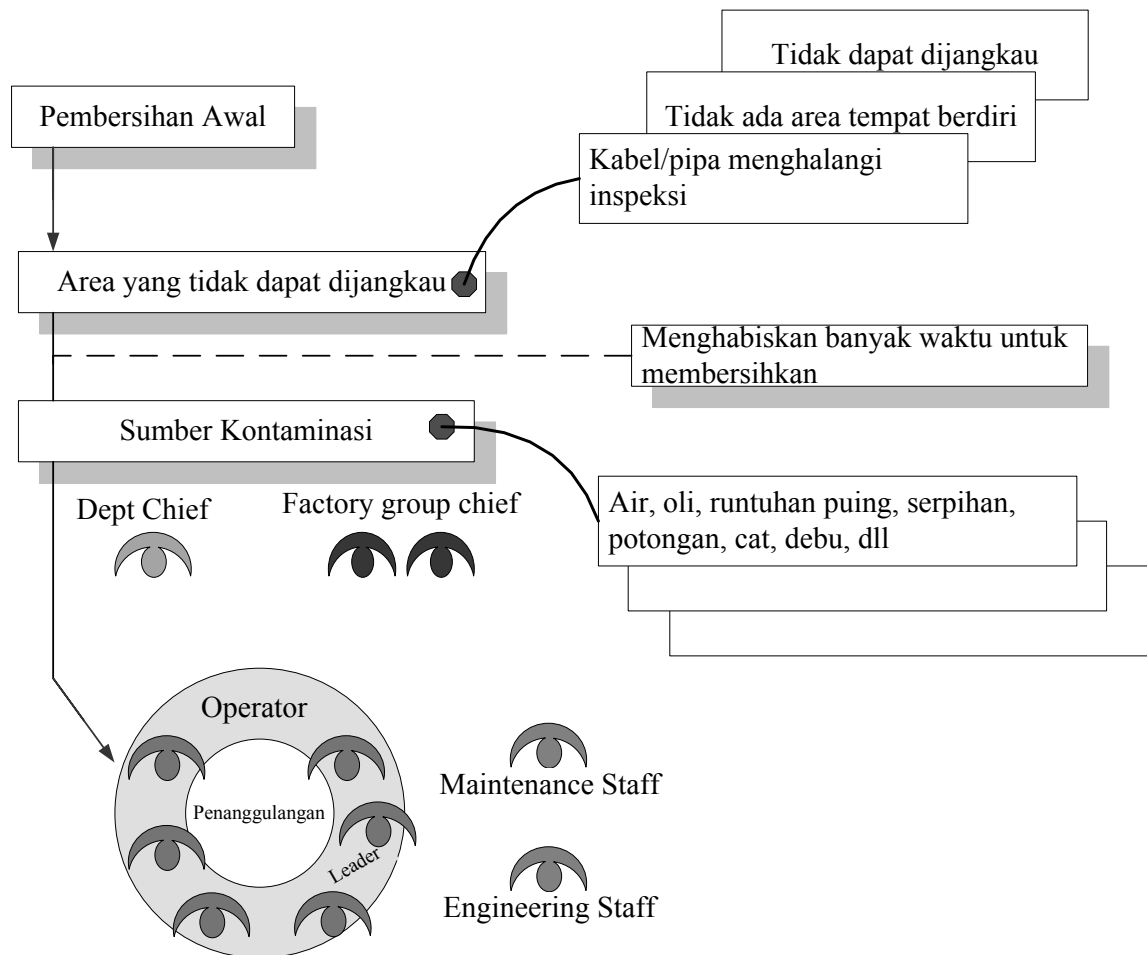
Gambar 2.10 Pembersihan awal dan 4 daftar

## 2. Pencegahan Sumber Kontaminasi

Dalam penanganan sumber kontaminasi adalah mencegah kontaminasi yang ditimbulkan dan menempel pada mesin pada mesin produksi untuk meningkatkan kehandalan suatu peralatan kerja serta memperbaiki tempat yang sulit dijangkau waktu pembersihan, sehingga sumber kontaminasi dapat diatasi. Kegiatan yang dilakukan dalam tindakan pencegahan sumber kontaminasi adalah :

- Mengendalikan sumber-sumber kontaminasi.

- Mencegah kontaminasi dari penyebaran yang tidak normal dan tidak diinginkan.
- Memperbaiki tempat-tempat yang sulit dijangkau untuk meningkatkan waktu pembersihan.



Gambar 2.11 Langkah-langkah pencegahan kontaminasi

Sedangkan prioritas pencegahan kontaminasi adalah :

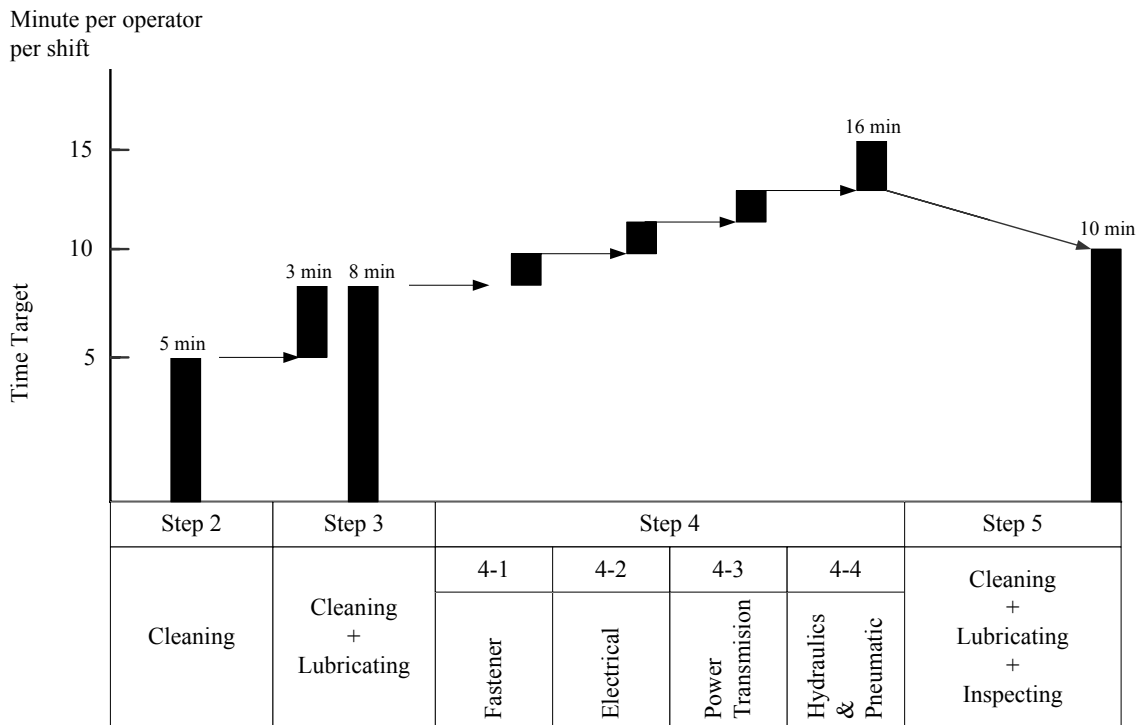
- Musnahkan penyebab kontaminasi pada sumbernya.
- Jika gagal, cegahlah penyebaran kontaminasi untuk meringankan tugas pembersihan rutin.

- Jika kedua langkah diatas gagal, operator membersihkan mesin secara manual, kemudian memperbaiki metode dan alat pembersihan agar prosedur pembersihan lebih mudah.
- Jika ketiga langkah diatas gagal, sebagai alternatif terakhir, modifikasi mesin agar pembersihan lebih mudah.


### **3. Standar pembersihan dan Pelumasan.**

Kegiatan pembersihan dan pelumasan seharusnya memiliki suatu standarisasi dan prosedur yang baik sehingga kegiatan tersebut bisa berjalan dengan efektif. Karena jika tidak dilakukan dengan demikian akan membuat bingung operator dalam melakukan pembersihan dan pelumasan. Kegiatan yang dilakukan dalam menerapkan standar pembersihan dan pelumasan adalah :

- Mengadakan pendidikan pelumasan.
- Mengembangkan inspeksi pelumasan secara menyeluruh.
- Membuat sistem pengendalian pelumasan.
- Menetapkan standar pembersihan dan pelumasan.



Gambar 2.12 Target waktu pelaksanaan perawatan mandiri.

Plant: _____		<b>Autonomous Management Standard for Cleaning</b>			Date: 10/02/99
					Release: 2
					Signature: _____
Group N° 2		Line: Cylinder heads			OP: 10 MST
Rif.	Area	Standard	Action and Tool	Who	When
P5	Central 1 and Trabon 1	The bench for hydraulic and lubrication stations must be clean	<p style="text-align: center;">Use of ecological cloths for cleaning</p>  <p style="text-align: center;">In case of anomalies, issue a WCOM tag</p>	Machine Owner	End 3rd shift
P6	Central 2 and Trabon 2				
P7	Central 3				
P8	Central 4 and Trabon 3				
P9	Central 5 and Trabon 4				
P10	Central 6 and Trabon 5				
P11	Central 62				
					Frequency: Daily

Gambar 2.13 Contoh standar pembersihan

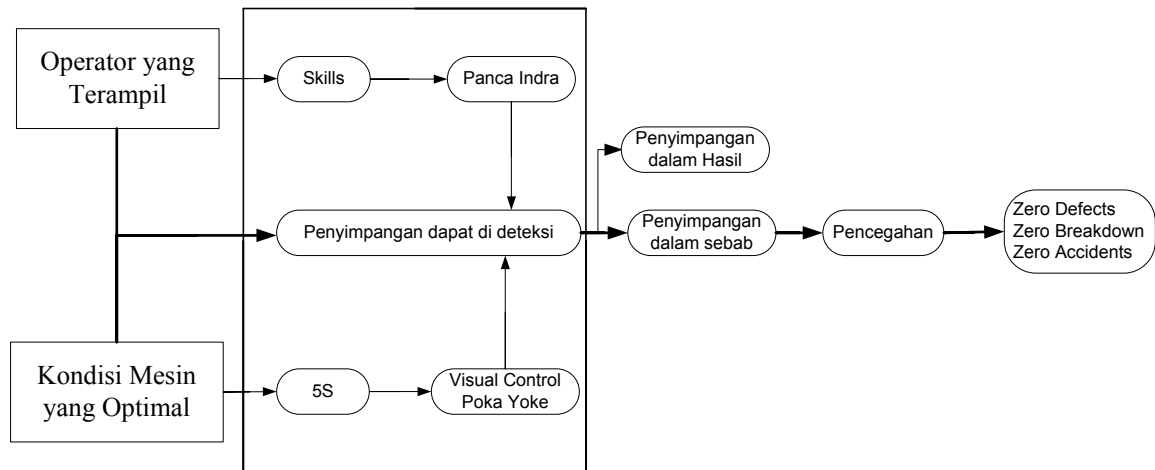
#### 4. Inspeksi Menyeluruh.

Inspeksi menyeluruh adalah kegiatan yang dilakukan dalam setiap aspek yang ada didalam perusahaan. Berikut adalah tahap-tahap inspeksi secara menyeluruh :

- Melaksanakan pendidikan dan pelatihan tentang inspeksi.
- Menentukan draft standar inspeksi
- Menciptakan inspeksi secara menyeluruh.
- Mengestimasi interval inspeksi.
- Menetapkan target waktu inspeksi.
- Menetapkan target perbaikan
- Memperbaiki peralatan yang sulit diinspeksi untuk mengurangi waktu yang dibutuhkan.
- Meninjau ulang standar inspeksi

Contoh kategori inspeksi adalah sebagai berikut :

- *Fastener* / alat pengunci.
- *Electrical*
- *Power transmission.*
- *Hydraulic.*
- *Pneumatic*



Gambar 2.14 Strategi mendeteksi penyimpangan dalam sekejap

## 5. Standar Perawatan Mandiri.

- Menetapkan standar dan jadwal perawatan mandiri untuk menyelesaikan kegiatan-kegiatan yang berpusat pada peralatan.
- Melakukan perawatan rutin dengan tepat sesuai standar.
- Maju terus menuju "Zero Breakdown".

## 6. *Process Quality Assurance*

*Process Quality Assurance* didefinisikan sebagai mengidentifikasi dengan jelas semua kondisi mutu pada setiap peralatan atau proses, dan menetapkan, mempertahankan kondisi mutu tersebut untuk memenuhi "lima kriteria penjaminan mutu". Lima kriteria penjaminan mutu tersebut adalah:

- Kondisi mutu harus kuantitatif atau jelas.
- Kondisi mutu harus mudah ditetapkan.
- Perubahan Kondisi mutu harus mudah ditemukan.



- Perubahan Kondisi mutu harus mudah diperbaiki.

Kegiatan yang dilakukan dalam *process quality assurance* adalah mencegah hasil produk yang rusak ke proses selanjutnya, mencegah memproduksi produk yang rusak, mencapai *process quality assurance* dan berlanjut ke *zero defects*.

## **7. Menjalankan Perawatan Mandiri dan Kegiatan Peningkatan Secara Berkesinambungan.**

Perawatan mandiri harus dijalankan sesuai tujuannya yaitu untuk meminimalisasikan kerusakan terhadap peralatan kerja. Dan untuk mencapai hasil maksimal maka perawatan mandiri harus diterapkan secara menyeluruh berkesinambungan.

### **2.27 Sasaran Perawatan Mandiri**

- Mengembangkan operator yang mampu mendeteksi berbagai sinyal kerugian (loss) serta dapat menanggulangnya.
- Menciptakan tempat kerja yang rapi dan bersih, sehingga setiap penyimpangan dari kondisi normal dapat dideteksi dalam waktu sekejap.