

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Dalam Penelitian yang akan dilaksanakan diperlukan dasar-dasar argumnetasi ilmiah yang berhubungan dengan konsep-konsep yang dipermasalahkan dalam penelitian dan akan dipakai dalam analisis. Dalam bab ini akan dijelaskan beberapa dasar-dasar argumentasi atau teori yang akan digunakan dalam penelitian.

### 2.1 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian telah dilakukan dengan penerapan *Total Produktive Maintenance* yang dapat dijadikan referensi dalam penelitian ini. Berikut merupakan *review* dari beberapa penelitian sebelumnya:

1. Hatugaol (2009) mengukur efektivitas penggunaan mesin secara menyeluruh untuk meminimasi *six big losses* dengan mengembangkan konsep *Total Productive Maintenance*. Penerapan TPM bertujuan untuk Meningkatkan efisiensi produksi dengan menggunakan metode *Overall Equipment Effectiveness*. Mengembangkan prinsip manajemen untuk meningkatkan produktivitas dan efisiensi produksi dengan menggunakan pengukuran *Six big losses*, dan OEE, selanjutnya mencari kontribusi terbesar yang mengakibatkan besarnya efisiensi pada mesin *dryer twind* dan untuk mengetahui penyebabnya dapat menggunakan diagram sebab akibat. Didapatkan nilai OEE pada Februari 2008-Januari 2009 nilai OEE mencapai 77,15% sampai 82,72%. Kondisi ini belum mencapai target kondisi ideal yaitu ( $\geq 85\%$ ). Pengaruh nilai OEE prioritas utama untuk dieliminasi yaitu *idling* dan *minor stoppage* sebesar 83,59% dan *breakdown loss* 18,58%.
2. Imani (2011) menentukan strategi perawatan dengan menggunakan *Total Productive Mintenance* untuk mendapat tingkat efisiensi produktifitas mesin tube mill 303. Metode yang digunakan adalah melakukan pengukuran *Overall Equipment Efectiveness* (OEE), menganalisis kerusakan mesin dengan menggunakan *Fault Tree Analysis* (FTA), dan melakukan simulasi monte carlo. Thesis ini mengintegrasikan nilai OEE kedalam minimasi *six big losses*. Dari hasil penelitiannya Kenaikan persentase *availability* setelah unit scarving diparalelkan meningkat

dari 49.28% menjadi 63.93%. selain itu Nilai *benefit cost ratio* setelah mengalami perbaikan adalah 472.8 artinya proyek penerapan implementasi TPM tersebut layak untuk dilanjutkan.

3. Norddin dan Saman (2012) mengembangkan strategi *Total Productive Maintenance* yang akan diimplementasikan pada pabrik pengolahan Pupuk NPK di Gurun Industrial Estate, Kedah, Malaysia. Aplikasi yang diterapkan dengan menggunakan 12 elemen disiplin TPM mulai tahap perencanaan dasar pengembangan TPM sampai *continuous improvement* yang diusulkan diidentifikasi untuk sistem manajemen perawatan yang efektif menuju TPM kelas dunia, studi kasusnya pada *Bucket Conveyor* EL102. Hasilnya dapat mereduksi *downtime* 50% dari 62,5 jam di tahun 2010 menjadi 31,25 jam di tahun 2011, dan selama bulan januari hanya terdapat *downtime* sebesar 12.5 jam, hal ini dikarekan bucket conveyor yang belum datang di MNFSB. Analisis keuangan dilakukan untuk menunjukkan jumlah kerugian akibat kerusakan peralatan sebesar RM 2,2 juta dengan metode *Cost Benefit Ratio*.
4. Haranditya (2014) meneliti tingkat efisiensi penggunaan mesin dalam rangka mendukung strategi perawatan dengan menggunakan konsep *Total Productive Maintenance* Pada *Batching Section* Produksi Pakan Ternak. Penelitian ini dilakukan perhitungan *Overall Equipment Effectiveness* (OEE), selanjutnya menghitung *six big losses* untuk mengetahui kerugian apa yang berpengaruh, selanjutnya pengolahan penghitungan *Failure Mode and Analysis* (FMEA) untuk mendapatkan resiko prioritas/ *Risk Priority Number*(RPN). Diperoleh 2 failure yang berpengaruh yaitu elevator dan mixer yang akan dilakukan *preventive* dan *predictive maintenance*.
5. Sedangkan pada penelitian kali ini perencanaan konsep TPM guna meningkatkan performansi Mesin *Crusher* di PT Semen Indonesia pabrik Tuban II. Analisa dilakukan dengan mencari performansi dengan dengan pengukuran *Overall Equipment Effectiveness* (OEE), untuk analisa kerusakan dengan menggunakan *Fishbone diagram* dan perencanaan strategi TPM. Output dari penelitian ini diharapkan nilai OEE meningkat agar sesuai dengan standart JIPM, sehingga biaya perawatan dapat diminimalkan.

Penelitian-penelitian diatas dapat dijadikan sebagai acuan dan bahan pembeda penelitian ini dengan penelitian-penelitian sebelumnya. Tabel 2.1 menunjukkan perbandingan penelitian yang terdahulu:

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

| No | Penulis                  | Judul   | Objek  | Metode   |
|----|--------------------------|---|--|--|
| 1. | Hatugaol,<br>H.J. (2009) | Penerapan Total Productive Maintenance untuk Meningkatkan Efisiensi Produksi dengan Menggunakan Metode <i>Overall Equipment Effectiveness</i>                                     | PT. Perkebunan Nusantara III, Dolok, Sedang, Sumatera Utara. | TPM, <i>Six Big Losses</i> , OEE   |
| 2. | Imani, T.<br>(2011)      | Implementasi <i>Total Productive Maintenance</i> Dengan Metode <i>Overall Equipment Effectiveness</i> (OEE) Untuk Menentukan <i>Maintenance Strategy</i> Pada Mesin Tube Mill 303 | PT. Spindo Unit III  | TPM, OEE   |
| 3. | Norddin,<br>KH (2012)    | <i>Implementation of Total Productive Maintenance (TPM) Concept in a Fertilizer Process Plant.</i>  | Malaysian NPK Fertilizer Sdn. Bhd                            | TPM, <i>Maintenance management system framework</i> , <i>Cost Benefit Analysis</i> |
| 4. | Haranditya,<br>D. (2014) | Penentuan Strategi Perawatan Dengan Menggunakan Konsep <i>Total Productive Maintenance</i> Pada <i>Batching Section</i> Produksi Pakan Ternak.                                    | PT. Sierad Produce, Tbk-Sidoarjo                             | OEE, FMEA, Strategy TPM.   |
| 5. | Penelitian ini           | Perencanaan Strategi <i>Total Productive Maintenance</i> untuk Meminimumkan Biaya Perawatan pada Mesin Chruser Tuban II.  | PT Semen Indonesia Pabrik Tuban                              | <i>Pareto Diagram</i> , OEE, <i>Fishbone Analysis</i> , TPM, <i>Total Cost</i>     |

## 2.2 Perawatan

Menurut Vincent Gasper, perawatan (*maintenance*) merupakan suatu kegiatan yang diarahkan pada tujuan untuk menjamin kelangsungan fungsional suatu sistem produksi sehingga dari sistem produksi sehingga dari sistem itu dapat diharapkan menghasilkan out put sesuai dengan yang dikehendaki. Sistem perawatan dapat dipandang sebagai bayangan dari sistem produksi, dimana apabila sistem produksi beroperasi dengan kapasitas yang sangat tinggi maka akan lebih intensif. Perawatan atau yang lebih dikenal dengankata lain *maintenance* dapat didefinisikan sebagai suatu aktivitas yang diperlukan untuk menjaga atau mempertahankan kualitas pemeliharaan suatu fasilitas tersebut tetap dapat berfungsi dengan baik dalam kondisi siap pakai (Sudrajat, 21011:2). Sedangkan fasilitas yang dimaksud disini sedah barang tertentu bukan hanya fasilitas seperti mesin-mesin produksi saja yang memerlukan perawatan tetapi juga fasilitas lain seperti generator, diesel, turbin, dan utilitas pabrik lainnya, dan nahkan peralatan kantor seperti komputer, mesin tik ataupun peralatan angkut seperti crane, forklift, dan lain-lain

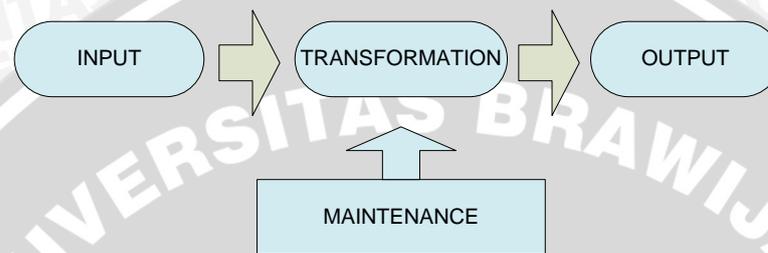
## 2.3 Manajemen Perawatan

Manajemen perawatan adalah pengelolaan pekerjaan perawatan dengan melalui suatu proses perencanaan, pengorganisasian serta pengendalian operasi perawatan untuk memberikan performasi mengenai fasilitas industri (Sudrajat, 2011:10). Tahap perawatan itu sendiri memang merupakan bagian dari industri sehingga bagian ini merupakan hal wajib yang harus dilakukan oleh perusahaan itu sendiri. Program perawatan itu sendiri memiliki peran yang sangat besar dalam mendukung aktifitas produksi. Selain untuk mendukung kelancaran proses produksi, tahap perawatan mesin pabrik juga berperan untuk menjaga kualitas hasil produksi. Gagasan yang muncul mengenai pokok-pokok pikiran dalam perencanaannya, ditujukan dengan pertanyaan-pertanyaan dasar sebagai berikut:

1. Apa yang harus dirawat?
2. Bagaimana cara merawatnya?
3. Kapan melakukan Perawatannya?
4. Siapa yang melakukannya?

Sedangkan pengorganisasiannya akan mencakup penerapan dari metode manajemen dan dengan cara yang sistematis. Dengan demikian jelaslah bahwa tercapainya tujuan perawatan di industri atau bengkel-bengkel kerja serta unit-unit kerja lainnya, tidaklah hanya ditunjang dengan fasilitas dan teknik perawatan saja, namun selain itu pula diperlukan manajemen yang memadai.

Dalam sistem produksi, peranan kegiatan perawatan tidak hanya untuk menjaga agar sistem tetap bekerja, juga produk dapat dihasilkan untuk kemudian dapat diserahkan pada konsumen secara tepat waktu dan berkualitas sesuai yang diharapkan (Sudrajat, 2011:4). Dengan mengurangi kemacetan-kemacetan sekecil mungkin agar sistem dapat bekerja secara efisien, sehingga menjamin proses berkesinambungan dari kemacetan yang timbul dari kerusakan fasilitas produksi. Peran manajemen perawatan pada sistem produksi dapat dilihat pada Gambar 2.1 di bawah ini:



**Gambar 2.1** Peran Perawatan dalam Sistem Produksi  
Sumber : Sudrajat (2011)

Gambar 2.1 diatas menunjukkan dalam suatu kegiatan produksi meliputi masukan (*input*) bahan baku sampai produk jadi (*output*) diperlukan strategi perawatan (*maintenance*) agar proses transformasi dapat berjalan dengan maksimal.

### 2.3.1 Tujuan Perawatan

Menurut Sugiyono (2013:27) beberapa tujuan perawatan yang utama adalah sebagai berikut:

1. Kemampuan produksi memenuhi kebutuhan sesuai dengan rencana produksi.
2. Menjaga kualitas pada tingkat yang tepat untuk memenuhi apa yang dibutuhkan oleh produk itu sendiri dan kegiatan produksi yang tidak terganggu.
3. Untuk membantu mengurangi pemakaian dan penyimpanan yang diluar batas dan menjaga modal yang diinvestasikan dalam perusahaan selama waktu yang ditentukan sesuai dengan kebijakan perusahaan mengenai investasi tersebut.
4. Untuk menbant mengurangi pemakaian dan penyimpangan yang diluar batas dan menjaga modal yang diinvestasikan dalam perusahaan selama waktu yang ditentukan sesuai dengan kebijakan perusahaan mengenai investasi tersebut.
5. Untuk Menjamin keselamatan orang yang menggunakan sarana tersebut..
6. Untuk memperpanjang umur/masa pakai dari mesin tersebut.

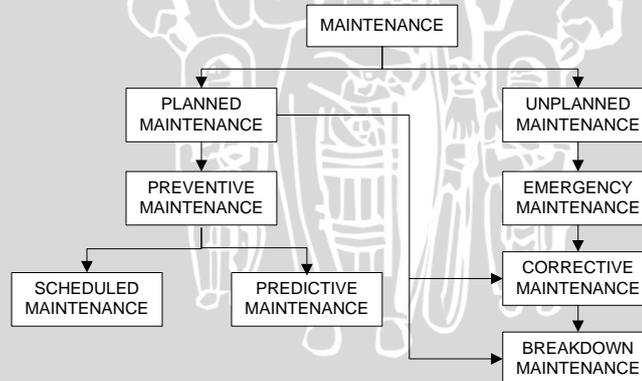
Disamping itu fungsi pemeliharaan dapat memberikan kepuasan terhadap permintaan yang diekspektasikan pada ongkos yang minimum (Sugiyono, 2013:28).

1. Hardy dan Krajewsky (Kostas, 1981: 693) menyatakan bahwa pemeliharaan membutuhkan keandalan (*reliability*) sistem produksi pada tingkat ongkos pemeliharaan yang masuk akal.
2. Memaksimalkan keuntungan dan meminimumkan ongkos dengan menggunakan dua metode:
  - a. Mereduksi frekuensi kegagalan/ kerusakan.
  - b. Mereduksi macam/ variansi kegagalan/ kerusakan.

Dari perkembangan industri, memungkinkan mesin-mesin melakukan serangkaian tugas yang panjang dan kompleks, artinya dituntut adanya pekerjaan perawatan yang baik dan terarah. Pekerjaan perawatan lebih diarahkan untuk menjaga kontinuitas sistem, sehingga sistem akan meningkatkan produksinya.

### 2.3.2 Strategi Perawatan

Menurut Sudrajat (2011:17), strategi perawatan dibagi menjadi beberapa bentuk seperti tertera Gambar 2.2 di bawah ini:



**Gambar 2.2** Bentuk Kebijakan Perawatan  
Sumber : Sudrajat, 2011:17

Secara garis besar dibagi menjadi pemeliharaan terencana (*planned maintenance*) dan pemeliharaan tidak terencana (*unplan maintenance*). Dalam hal ini tentunya akan mengarah pada peningkatan efektifitas *maintenance* peralatan dengan cara yang lebih ilmiah dengan dikenal "*planned maintenance*" dengan metode *Scheduled maintenance* dan *predictive maintenance*. Sedangkan untuk perawatan yang tidak terencana apabila terjadi secara darurat sehingga mengharuskan mesin untuk berhenti meliputi *corrective maintenance* dan *breakdown maintenance*.

### 1. Perawatan Kerusakan (*Breakdown Maintenance*)

Perawatan kerusakan dapat diartikan sebagai kebijakan perawatan dengan cara mesin/peralatan dioperasikan hingga rusak, kemudian baru diperbaiki atau diganti. Kebijakan ini merupakan strategi yang sangat kasar dan kurang baik karena dapat menimbulkan biaya yang tinggi, kehilangan kesempatan untuk mengambil keuntungan bagi perusahaan karena diakibatkan terhentinya mesin, keselamatan kerja tidak terjamin, kondisi mesin tidak diketahui, dan tidak ada perencanaan waktu, tenaga kerja maupun biaya yang baik (Sugiyono, 2013:52).

### 2. Perawatan Pencegahan (*Preventive Maintenance*)

Perawatan pencegahan merupakan perawatan yang dilakukan sebelum terjadi kerusakan mesin. Kebijakan ini cukup baik dapat mencegah berhentinya mesin yang tidak direncanakan. Keuntungan kebijakan perawatan pencegahan terutama akan menjamin keandalan dari sistem tersebut, menjamin keselamatan bagi pemakai, umur pakai mesin menjadi lebih panjang, down time proses produksi dapat diperendah (Sugiyono, 2013:53).

Tujuan perawatan pencegahan diarahkan untuk memaksimalkan *availability*, dan meminimalkan ongkos melalui peningkatan *reliability*. Dengan lingkup kegiatan bisa hanya mencakup area process (*operation, utility, main process, dll*) atau bisa diperluas ke area lain seperti building office dan fasilitas umum.

### 3. Perawatan Terjadwal (*Scheduled Maintenance*)

Perawatan terjadwal merupakan bagian dari perawatan pencegahan. Perawatan ini bertujuan mencegah terjadi kerusakan dan perawatannya dilakukan secara periodek dalam rentang waktu tertentu. Strategi perawatan ini disebut juga dengan perawatan berdasarkan waktu/ *time based maintenance* (Sugiyono, 2013:58).

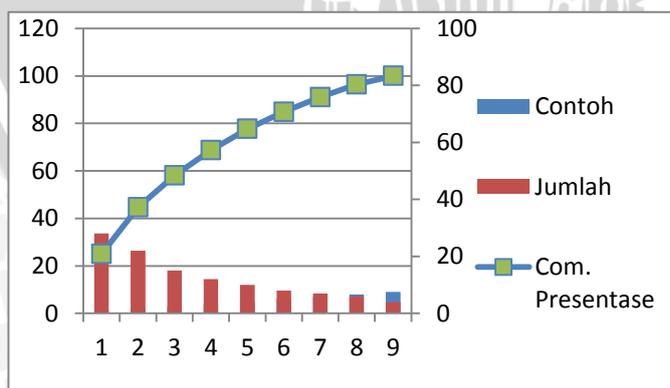
Kebijakan perawatan ini cukup baik dalam mencegah terhentinya mesin yang tidak terencana. Rentang waktu perawatan ditentukan berdasarkan pengalaman, data masa lalu atau rekomendasi dari pabrik pembuat mesin yang bersangkutan. Kekurangannya, jika rentang waktu perawatan terlalu pendek akan mengganggu aktivitas produksi dan dapat meningkatkan kesalahan yang timbul karena kekurangcermatan teknisi dalam memasang kembali komponen yang diperbaiki serta kemungkinan adanya kontaminan yang masuk kedalam sistem. Jika rentang waktu perawatan terlalu panjang kemungkinan mesin akan mengalami kerusakan sebelum tiba waktu perawatan. Selain itu kondisi mesin atau komponen mesin/peralatan masih baik dan menurut jadwal harus sudah diganti atau diperbaiki akan menimbulkan kerugian.

#### 4. Perawatan Prediktif (*Predictive Maintenance*)

Perawatan prediktif ini merupakan bagian perawatan pencegahan. Perawatan prediktif ini dapat diartikan sebagai strategi perawatan dimana pelaksanaannya didasarkan kondisi mesin itu sendiri. Untuk menentukan kondisi mesin dilakukan tindakan pemeriksaan atau monitoring secara rutin, jika terdapat tanda atau gejala kerusakan segera diambil tindakan perbaikan untuk mencegah kerusakan lebih lanjut, jika tidak terdapat gejala kerusakan segera pula diketahui (Sugiyono, 2013:59). Perawatan prediktif disebut juga perawatan berdasarkan kondisi.

#### 2.4 Diagram Pareto

Diagram pareto merupakan suatu grafik yang menggambarkan frekuensi atau pengaruh dari proses/ keadaan/ masalah yang menunjukkan perbandingan persentase kerusakan dibandingkan dengan total kerusakan (Borris, 2006:80). Diagram batang diatur dari kiri paling rendah menuju ke kanan paling tinggi. Prinsip penggunaan diagram pareto dikenal sebagai aturan 80/20 dengan 20% penyebab bertanggung jawab terhadap 80% masalah yang muncul atau sebaliknya. Dengan mengingatkan fokus pada 20% hal materi akan tetapi tidak mengabaikan 80% masalah. Kegunaan diagram pareto adalah dapat menunjukkan persoalan utama, menyatakan perbandingan masing-masing persoalan terhadap keseluruhan, menunjukkan tingkat perbaikansetelah adanya tindakan perbaikan, dan menunjukkan perbandingan persoalan sebelum dan sesudah perbaikan. Berikut ini contoh Gambar 2.3 pembuatan diagram pareto dengan minitab 16.



Gambar 2.3 Diagram Pareto

#### 2.5 Model Distribusi Kerusakan

Suatu model distribusi kerusakan suatu mesin dapat diketahui dengan menggunakan distribusi statistik.

### 2.5.1 Distribusi keandalan

Menurut Ebellling (1997:5) konsep keandalan adalah probabilitas suatu komponen akan beroperasi sesuai dengan fungsi yang ditetapkan dalam jangka waktu tertentu ketika digunakan dalam kondisi operasional tertentu. Dalam menghitung keandalan suatu mesin, ada beberapa distribusi yang digunakan sebagai dasar perhitungan, yaitu distribusi diskrit (*discrete distribution*) dan distribusi kontinu (*continue distribution*). Dalam distribusi diskrit yang sering dipakai antara lain : distribusi binomial dan distribusi *poisson*. Sedangkan distribusi kontinu yang dipakai antara lain distribusi *weibull*, normal, *lognormal* dan *eksponential*.

#### 2.5.1.1 Distribusi Weibull

Distribusi *Weibull* adalah distribusi empiris yang banyak digunakan dan hampir muncul pada semua karakteristik kegagalan dari mesin. Pada umumnya, distribusi ini digunakan pada komponen mekanik atau peralatan permesinan. Distribusi *Weibull* biasa digunakan dalam menganalisis suatu kerusakan yang tidak konstan. Menurut Rausand (2004 : 37) distribusi *weibull* adalah salah satu distribusi yang sering digunakan dalam analisa keandalan.

Dalam distribusi *weibull* dikenal 2 parameter yaitu parameter skala (*scale parameter*) dan parameter bentuk (*shape parameter*). Rausand (2004 : 37) menyatakan fungsi *reliability* atau keandalan yang digunakan :

$$F(t) = 1 - e^{-(\lambda t)^\alpha} \quad (2-1)$$

Sumber: Rausand (2004:37)

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (2-2)$$

Sumber: Rausand (2004:37)

lalu substitusikan persamaan (2-1) ke persamaan (2-2) akan mendapatkan

$$R(t) = 1 - (1 - e^{-(\lambda t)^\alpha}) \quad (2-3)$$

Sumber: Rausand (2004:38)

a. Fungsi keandalan

$$R(t) = e^{-(\lambda t)^\alpha} \quad (2-4)$$

Sumber: Rausand (2004:38)

b. Laju Kerusakan

$$z(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \alpha \lambda^\alpha t^{\alpha-1} \quad (2-5)$$

Sumber: Rausand (2004:38)

c. *Mean Time To Failure*

$$MTTF = \mu \quad (2-6)$$

Sumber: Rausand (2004:38)

d. *Mean Time To Repair*

$$MTTR = \theta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (2-7)$$

Sumber: Rausand (2004:39)

### 2.5.1.2 Distribusi Lognormal

Distribusi Lognormal dikenal dua parameter yaitu  $s$  yang merupakan parameter bentuk (*shape parameter*) dan  $t_{med}$  sebagai parameter lokasi (*location parameter*). Distribusi ini juga sering ditemui sehingga menyebabkan data yang sesuai dengan distribusi *weibull* juga sesuai dengan distribusi *Lognormal*. Rausand (2004 : 43) menyatakan fungsi *reliability* atau keandalan yang digunakan :

$$F(t) = \int_0^t \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma t} e^{-\frac{(\ln t - \mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (2-8)$$

Sumber: Rausand (2004:43)

dan

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (2-9)$$

Sumber: Rausand (2004:43)

dengan mensubstitusikan persamaan (2-8) ke persamaan (2-9) akan mendapatkan

$$R(t) = 1 - \int_0^t \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma t} e^{-\frac{(\ln t - \mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (2-10)$$

Sumber: Rausand (2004:43)

sehingga didapatkan fungsi keandalan

a. Keandalan

$$R(t) = \Phi\left(\frac{v - \ln t}{\sigma}\right) \quad (2-11)$$

Sumber: Rausand (2004:43)

b. *Mean Time To Failure*

$$MTTF = t_m e^{\tau^2/2} \quad (2-12)$$

Sumber: Rausand (2004:44)

c. *Mean Time To Repair*

$$MTTR = t_m e^{\tau^2/2} \quad (2-13)$$

Sumber: Rausand (2004:44)

### 2.5.1.3 Distribusi Normal

Distribusi normal cocok digunakan dalam mendefinisikan fenomena keausan. Dalam distribusi ini dikenal dua parameter antara lain  $\mu$  (nilai tengah) dan  $\sigma$  (standar deviasi). Distribusi ini juga bisa digunakan untuk menganalisis suatu distribusi yang berdistribusi lognormal.

Menurut Rausand (2004 : 41) fungsi *reliability* distribusi normal :

$$F(t) = \int_0^t \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(t-u)^2}{2\sigma^2}} du \quad (2-14)$$

Sumber: Rausand (2004:41)

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (2-15)$$

Sumber: Rausand (2004:41)

dengan mensubstitusikan persamaan (2-13) ke persamaan (2-14) akan mendapatkan

$$R(t) = 1 - \int_0^t \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(t-u)^2}{2\sigma^2}} du \quad (2-16)$$

Sumber: Rausand (2004:41)

sehingga didapatkan fungsi keandalan

a. Fungsi Keandalan

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{t-v}{\tau}\right) \quad (2-17)$$

Sumber: Rausand (2004:41)

b. Laju Kerusakan

$$z(t) = -\frac{R'(t)}{R(t)} = \frac{1}{\tau} \cdot \frac{\Phi((t-v)/\tau)}{1-\Phi((t-v)/\tau)} \quad (2-18)$$

Sumber: Rausand (2004:41)

c. *Mean Time To Failure*

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (2-19)$$

Sumber: Dhillon (2006 : 178)

d. *Mean Time To Repair*

$$MTTR = t_m e^{\tau^2/2} \quad (2-20)$$

Sumber: Dhillon (2006 : 178)

#### 2.5.1.4 Distribusi *Eksponensial*

Distribusi ini digunakan untuk menghitung keandalan dari suatu distribusi kerusakan yang memiliki laju kerusakan yang konstan. Distribusi ini memiliki laju kerusakan yang konstan terhadap waktu.

Dalam distribusi ini hanya dikenal satu parameter yaitu  $\lambda$  yang menunjukkan rata-rata kerusakan yang terjadi. Menurut Rausand (2004 : 26) fungsi *reliability* distribusi *eksponensial* :

$$F(t) = \int_0^t \lambda e^{-\lambda t} dt \quad (2-21)$$

Sumber: Rausand (2004:26)

dan

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (2-22)$$

Sumber: Rausand (2004:26)

lalu substitusikan persamaan (2-19) ke persamaan (2-20)

$$R(t) = 1 - \int_0^t \lambda e^{-\lambda t} dt \quad (2-23)$$

Sumber: Rausand (2004:26)

sehingga didapatkan fungsi keandalan

a. Fungsi Keandalan

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (2-24)$$

Sumber: Rausand (2004:26)

b. Laju Kerusakan

$$z(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\lambda e^{-\lambda t}}{e^{-\lambda t}} = \lambda \quad (2-25)$$

Sumber: Rausand (2004:27)

c. Mean Time To Failure

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad (2-26)$$

Sumber: Rausand (2004:27)

d. Mean Time To Repair

$$MTTR = \frac{1}{\lambda} \quad (2-27)$$

Sumber: Rausand (2004:27)

## 2.6 Overall Equipment Effectiveness (OEE)

*Equipment Effectiveness* (OEE) merupakan metode pengukuran tingkat efektifitas pemakaian suatu peralatan atau sistem dengan mengikutsertakan beberapa sudut pandang dari perhitungan tersebut. Sudut pandang yang diikutsertakan antara lain adlah *availability*, *performance rate*, dan *rate of quality* dari suatu mesin. Oleh karena itu perhitunga OEE merupakan metode komprehensif dalam pencarian tingkat efektivitas sebuah mesin atau sistem, karena semua faktor yang mempengaruhi efektifitas mesin diikutsertakan dalam perhitungannya. Sehingga dapat mengukur peralatan produksi tersebut dapat bekerja dengan normal atau tidak.

### 1. Availability Performance (AP)

*Availability Performance* adalah pengoptimalan waktu operasi mesin dari waktu yang tersedia. *Avaibility* adalah indikator yang menunjukkan kehandalan mesin. Waktu mesin menghasilkan produk dibandingkan waktu yang tersedia, biasa disebut *avalibility real*. Sehingga utilitas adalah waktu pemakaian mesin dibandingkan waktu yang tersedia. *Avaibility* mengacu pada indikator lama waktu mesin *downtime* dan lama waktu untuk *setup* dan *adjustment*.

$$\% \text{ Availability} = \frac{\text{Loading time} - \text{downtime}}{\text{Loading time}} \times 100\% \quad (2.28)$$

Sumber: Stephens (2004:159)

Keterangan:

*Loading Time* : waktu bersih mesin bekerja sesuai yang direncanakan, dimana *load time* adalah waktu kerja ditambah dengan waktu lembur

*Downtime* : waktu dimana mesin berhenti yang tidak direncanakan

## 2. *Performance Rate* (PR)

*Performance Rate* atau efektivitas produksi (*production effectiveness*) adalah efektivitas kegiatan produksi. Nilai *performance rate* dapat disajikan sebagai parameter kualitas produksi. Besar *performance rate* dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Performance Rate (\%)} = \frac{\text{input} \times \text{ideal cycle time}}{\text{waktu operasi}} \times 100\% \quad (2-29)$$

Sumber: Stephens (2004:160)

Keterangan:

*Ideal cycle time* : siklus waktu proses yang diharapkan dapat dicapai dalam keadaan optimal tanpa hambatan.

*Input* : banyaknya jumlah produk yang diproduksi.

Waktu operasi : waktu bersih mesin kerja tanpa kerusakan, dimana waktu operasi adalah *load time* dikurangi dengan *downtime*.

## 3. *Rate of Quality* (RQ)

*Rate of Quality* (RQ) adalah efektivitas produksi berdasarkan kualitas produk yang dihasilkan. RQ memiliki formulasi sebagai berikut:

$$\text{Rate of Quality (\%)} = \frac{\text{input} - \text{quality defect}}{\text{production input}} \times 100\% \quad (2-30)$$

Sumber: Stephens (2004:162)

Keterangan:

*Input* : banyaknya jumlah produk yang diproses untuk menjadi produk yang akan dihasilkan

*Quality defect* : banyaknya jumlah produk cacat dalam proses produksi

Dari hasil perhitungan *availability rate*, *performance rate*, dan *rate of quality* maka dapat disimpulkan *Downtime loss* yang mempengaruhi *Availability Rate*, *Speed loss* yang mempengaruhi *Performance Rate*, dan *Quality loss* yang mempengaruhi *Quality Rate*. Sehingga dapat dihitung nilai *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) yang dapat dihitung

dengan menggunakan persamaan dan grafik pada Tabel 2.2 sebagai berikut (Stephens, 2004:163):

$$\text{OEE (\%)} = \text{Availability Rate} \times \text{Performance Rate} \times \text{Rate of Quality} \quad (2-31)$$

Sumber: (Stephens, 2004:161)

**Tabel 2.2 Perhitungan Overall Equipment Effectiveness (OEE)**

| Peralatan Produksi  |                 | Six Big Loss              | Perhitungan OEE  |
|---|-----------------|---------------------------|--|
| Loading Time  |                 |                           |  |
| Operating Time  | Downtime Losses | 1 Breakdown Loss          | Availability = $\frac{\text{Loading Time}}{\text{Downtime Losses}} \times 100\%$   |
|   |                 | 2 Setup & Adjustment Loss |  |
| Net Operating Time  | Speed Losses    | 3 Chokotei Loss           | Performance rate = $\frac{\text{Theoretical cycle time} \times \text{Process amount}}{\text{Operating Time}} \times 100\%$ |
|   |                 | 4 Cycle Time Loss         |  |
| Valuable Operating Time                                     | Quality Losses  | 5 Defect Loss             | Quality Rate = $\frac{\text{Process amount} - \text{Defect amount}}{\text{Processes amount}} \times 100\%$                 |
|   |                 | 6 Startup Loss            |  |
| <b>OEE = Availability x Performance Rate x Quality Rate</b> |                 |                           |  |

Sumber: Hansen (2001:45)

*Availability rate* mengukur efektivitas *maintenance* peralatan produksi dalam kondisi produksi sedang berlangsung, *performance rate* mengukur seberapa efektif peralatan produksi yang digunakan, dan *quality rate* mengukur efektivitas proses manufaktur untuk mengeliminasi *scrap*, *rework*, dan *yield loss*. Menurut Hansen (2001:45) dalam *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) dapat dikategorikan menjadi :

1. Jika <65%, tidak dapat diterima
2. Jika 65-75%, cukup baik hanya ada kecenderungan adanya peningkatan tiap kuartalnya
3. Sedangkan 75-85%, sangat bagus untuk lanjutkan di tingkat *world class* (>85% untuk *batch type process* dan >90% untuk *continous discratre process*).

## 2.7 Diagram Tulang Ikan (*Fishbone Diagram*)

Diagram tulang ikan atau *Ishikawa/ Fishbone Diagram* adalah suatu metode yang digunakan untuk meningkatkan kualitas. Sering juga diagram ini disebut diagram sebab akibat atau *cause effect diagram*. Diagram Ishikawa sangat populer dan dipakai seluruh penjuru dunia dalam mengidentifikasi faktor penyebab masalah. Fishbone diagram ini dikenal dengan tulang ikan karena bentuknya menyerupai dengan tulang ikan, dimana ada

bagian kepala merupakan efek dan bagian tubuh berupa rangka serta duri-durinya sebagai permasalahan (*cause*) yang timbul.

Fungsi dasar diagram fishbone adalah untuk mengidentifikasi dan mengorganisasi penyebab-penyebab yang akan timbul dari suatu efek spesifik dan kemudian memisahkan akar penyebabnya. Dengan adanya diagram fishbone ini memberi banyak sekali keuntungan bagi dunia bisnis. Selain memecahkan masalah kualitas yang menjadi perhatian penting perusahaan.

### 2.7.1 Langkah-Langkah Membuat *Fishbone Diagram*

Terdapat 4 langkah dalam pembuatan *fishbone diagram*. Berikut adalah langkah-langkah dalam membuat *fishbone diagram*.

1. Tentukan masalah yang akan diteliti

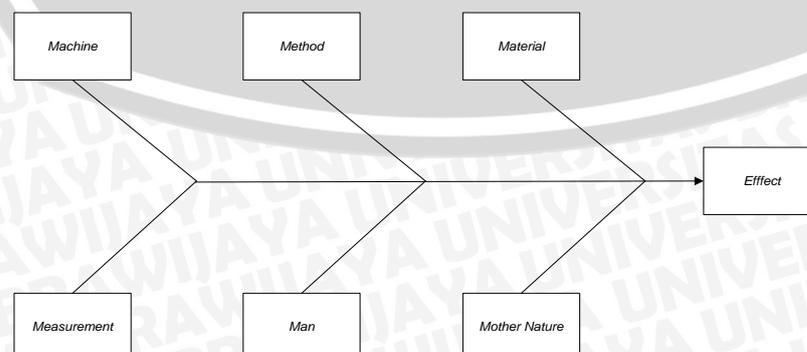
Mengidentifikasi dan mendefinisikan dengan jelas hasil atau akibat untuk dianalisis. Pernyataan masalah ini diinterpretasikan sebagai *effect* atau secara visual dalam *fishbone* seperti kepala ikan.

2. Mengidentifikasi kategori

Kategori sebab utama mengorganisasikan sebab sedemikian rupa sehingga masuk akal dengan situasi. Kategori-kategori ini antara lain:

- a. *Machine* (mesin atau teknologi)
- b. *Method* (metode atau proses)
- c. *Material* (termasuk *raw material*, *consumption*, dan informasi)
- d. *Man Power* (tenaga kerja atau pekerjaan fisik)/*Mind Power* (pekerjaan pikiran):  
Kaizen, saran, dan sebagainya.
- e. *Measurement* (pengukuran/ inspeksi)
- f. *Milieu/ Mother Nature* (lingkungan)

Identifikasi sebab utama dapat digambarkan pada Gambar 2.4 sebagai berikut:



**Gambar 2.4** Mengidentifikasi kategori  
Sumber: Stephens (2002:205)

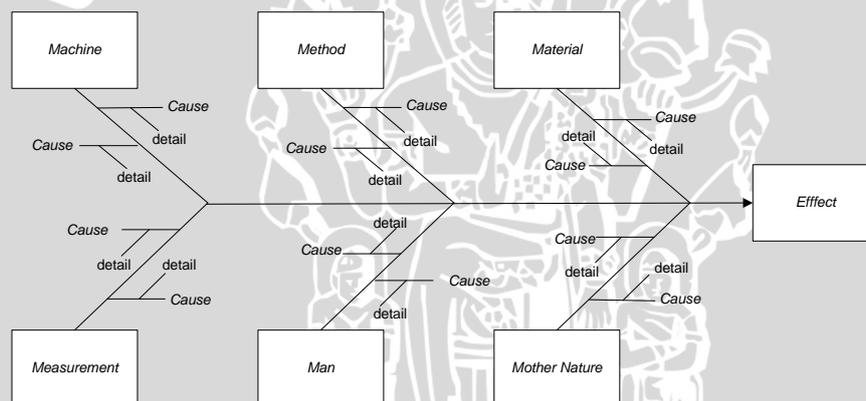
Identifikasi kategori diatas hanya sebagai saran, dapat menggunakan kategori yang dapat mengatur gagasan-gagasan. Jumlah kategori biasanya sekitar 4 sampai dengan 6 kategori.

3. Menemukan sebab-sebab potensial dengan cara *brainstorming*

Setiap kategori mempunyai sebab-sebab yang perlu diuraikan melalui sesi brainstorming. Saat sebab-sebab dikemukakan, tentu bersama-sama dimana sebabtersebut harus ditempatkan dalam fishbone diagram, yaitu tentukan dibawah kategori yang mana gagasan tersebut harus ditempatkan.

4. Mengkaji dan menyepakati sebab-sebab yang mungkin terjadi.

Setelah setiap kategori diisi mencari sebab yang paling mungkin diantara semua sebab-sebab dan sub babnya. Jika ada sebab-sebab yang muncul lebih dari satu kategori, kemungkinan merupakan petunjuk penyebab yang paling mungkin dapat dilihat pada Gambar 2.5



**Gambar 2.5** Menemukan sebab potensial  
Sumber: Stephens (2002:206)

Dari diagram 2.5 diatas dapat ditemukan akar-akar penyebab masalah yang paling mungkin untuk cepat ditindaklanjuti oleh pihak departemen manajemen perawatan.

## 2.8 Total Productive Maintenance (TPM)

*Total Productive Maintenance* merupakan suatu filosofi yang bertujuan memaksimalkan efektivitas dari fasilitas yang digunakan di dalam industri, yang tidak hanya dialamatkan pada perawatan saja tapi pada semua aspek dari operasi dan instalasi dari fasilitas produksi termasuk juga didalamnya peningkatan motivasi dari orang-orang yang bekerja dalam perusahaan itu (Borris, 2006:7).

TPM menyangkut aspek operasi dan instalasi mesin tersebut dan TPM sangat mempengaruhi motivasi orang-orang yang bekerja dalam suatu perusahaan. Menurut Nakajima (1988:11) TPM memiliki tiga komponen yaitu:

1. Pendekatan Total (*Total Approach*)

Filosofi dari TPM sesuai dengan semua aspek yang terkait dengan fasilitas yang dipergunakan dalam area operasi dan orang yang mengoperasikan, *menset up* dan merawat fasilitas yang merupakan objek yang menjadi fokus perhatian.

2. Aksi yang Produktif (*Productive Action*)

Pendekatan yang bersifat proaktif pada setiap kondisi dari operasi fasilitas bertujuan untuk meningkatkan produktifitas secara terus-menerus.

3. Perawatan (*Maintenance*)

Metodologi yang sangat praktis untuk melakukan manajemen perawatan yang baik dan peningkatan keefektifitasan dari fasilitas dan integrasi dari semua operator produksi hingga level manajemen.

Sedangkan tujuan dari strategi TPM menurut Nakajima (1988:13) sebagai berikut:

1. Mengurangi waktu (*delay*) saat operasi.
2. Meningkatkan *avaibility* (ketersediaan), menambah waktu yang produktif.
3. Meningkatkan umur peralatan.
4. Melibatkan pemakai peralatan yang dibantu oleh personil *maintenance*.
5. Melaksanakan preventive maintenance (regular dan condition based).
6. Meningkatkan kemampuan merawat peralatan, dengan menggunakan *expert system* untuk mendiagnosis serta mempertimbangkan perancangannya.

### 2.8.1 Pilar *Total Productive Maintenance*

Menurut Borris (2006:8), ada delapan pilar yang mendukung kesuksesan dan keberhasilan TPM. Pilar TPM dapat dilihat pada Gambar 2.6 sebagai berikut:



**Gambar 2.6** Delapan Pilar TPM

Sumber : Borris (2006:7)

1. *Autonomous Maintenance* /Jishu Hozen (Perawatan Otonomus)

*Autonomous Maintenance* atau Jishu Hozen memberikan tanggung jawab perawatan rutin kepada operator seperti pembersihan mesin, pemberian lubrikasi/minyak dan inspeksi mesin. Dengan demikian, operator atau pekerja yang bersangkutan memiliki rasa kepemilikan yang tinggi, meningkatkan pengetahuan pekerja terhadap peralatan yang digunakannya. Dengan Pilar *Autonomous Maintenance*, Mesin atau peralatan produksi dapat dipastikan bersih dan terlubrikasi dengan baik serta dapat mengidentifikasi potensi kerusakan sebelum terjadinya kerusakan yang lebih parah.

2. *Planned Maintenance* (Perawatan Terencana)

Pilar *Planned Maintenance* menjadwalkan tugas perawatan berdasarkan tingkat rasio kerusakan yang pernah terjadi dan/atau tingkat kerusakan yang diprediksikan. Dengan *Planned Maintenance*, kita dapat mengurangi kerusakan yang terjadi secara mendadak serta dapat lebih baik mengendalikan tingkat kerusakan komponen. Elemen yang perlu diperhatikan dalam pilar ini antara lain

- a. *Preventive maintenance*
- b. *Breakdown Maintenance*
- c. *Corrective Maintenance*.

3. *Quality Maintenance* (Perawatan Kualitas)

Pilar *Quality Maintenance* membahas tentang masalah kualitas dengan memastikan peralatan atau mesin produksi dapat mendeteksi dan mencegah kesalahan selama produksi berlangsung. Dengan kemampuan mendeteksi kesalahan ini, proses produksi menjadi cukup handal dalam menghasilkan produk sesuai dengan spesifikasi pada pertama kalinya. Dengan demikian, tingkat kegagalan produk akan terkendali dan biaya produksi pun menjadi semakin rendah.

4. *Kaizan/ Focused Improvement* (Perbaikan yang terfokus)

Membentuk kelompok kerja untuk secara proaktif mengidentifikasi mesin/peralatan kerja yang bermasalah dan memberikan solusi atau usulan-usulan perbaikan. Kelompok kerja dalam melakukan *Focused Improvement* juga bisa mendapatkan karyawan-karyawan yang bertalenta dalam mendukung kinerja perusahaan untuk mencapai targetnya.

5. *Early Equipment Management* (Manajemen Awal pada Peralatan kerja)

*Early Equipment Management* merupakan pilar TPM yang menggunakan kumpulan pengalaman dari kegiatan perbaikan dan perawatan sebelumnya untuk memastikan mesin baru dapat mencapai kinerja yang optimal. Tujuan dari pilar ini adalah agar

mesin atau peralatan produksi baru dapat mencapai kinerja yang optimal pada waktu yang sesingkat-singkatnya.

6. *Training dan Education* (Pelatihan dan Pendidikan)

Pilar *Training dan Education* ini diperlukan untuk mengisi kesenjangan pengetahuan saat menerapkan TPM (*Total Productive Maintenance*). Kurangnya pengetahuan terhadap alat atau mesin yang dipakainya dapat menimbulkan kerusakan pada peralatan tersebut dan menyebabkan rendahnya produktivitas kerja yang akhirnya merugikan perusahaan. Dengan pelatihan yang cukup, kemampuan operator dapat ditingkatkan sehingga dapat melakukan kegiatan perawatan dasar sedangkan Teknisi dapat dilatih dalam hal meningkatkan kemampuannya untuk melakukan perawatan pencegahan dan kemampuan dalam menganalisis kerusakan mesin atau peralatan kerja. Pelatihan pada level Manajerial juga dapat meningkatkan kemampuan Manajer dalam membimbing dan mendidik tenaga kerjanya (*mentoring dan Coaching skills*) dalam penerapan TPM. Terdapat 2 komponen *training* yaitu:

- a. *Soft skill training*, meliputi bagaimana cara bekerja secara tim dan cara berkomunikasi
- b. *Technical training*, meliputi meningkatkan kemampuan dan memecahkan masalah dan kemampuan menguasai peralatan atau mesin.

7. *Safety, Health and Environment* (Keselamatan, Kesehatan dan Lingkungan)

Para Pekerja harus dapat bekerja dan mampu menjalankan fungsinya dalam lingkungan yang aman dan sehat. Dalam Pilar ini, Perusahaan diwajibkan untuk menyediakan Lingkungan yang aman dan sehat serta bebas dari kondisi berbahaya. Tujuan Pilar ini adalah mencapai target Tempat kerja yang *Zero accident, Zero health damage, dan Zero fire*.

8. *TPM in Administration* (TPM dalam Administrasi)

Pilar selanjutnya dalam TPM adalah menyebarkan konsep TPM ke dalam fungsi Administrasi. Tujuan pilar TPM in Administrasi ini adalah agar semua pihak dalam organisasi (perusahaan) memiliki konsep dan persepsi yang sama termasuk staff.

### 2.8.2 Budaya 5S dalam *Total Productive maintenance*

Menurut Borris (2006:154) 5S adalah istilah Jepang untuk menggambarkan secara sistematis praktek housekeeping yang baik. 5S adalah singkatan dari 5 kata dalam bahasa Jepang yang diawali oleh huruf S yaitu *Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke*. 5S adalah filosofi dan cara bagi suatu organisasi dalam mengatur dan mengelola ruang kerja dan alur

kerja dengan tujuan efisiensi dengan cara mengurangi adanya buangan (waste) baik yang bersifat barang atau peralatan maupun waktu.

1. *Seiri* (Ringkas)

Ringkas membedakan antara yang diperlukan dan yang tidak diperlukan serta membuang yang tidak diperlukan “Singkirkan Barang-barang yang tidak diperlukan dari tempat kerja” Borris (2006:162).

2. *Seiton* (Rapi)

Menentukan tata letak yang tertata rapi sehingga kita selalu menemukan barang yang diperlukan. ”Setiap barang yang berada di tempat kerja mempunyai tempat yang pasti” Borris (2006:164).

3. *Seiso* (Resik)

Menghilangkan sampah kotoran dan barang asing untuk memperoleh tempat kerja yang lebih bersih. Pembersihan dengan cara inspeksi “Bersihkan segala sesuatu yang ada di tempat kerja” Borris (2006:174).

4. *Seiketsu* (Rawat)

Memelihara barang dengan teratur rapi dan bersih juga dalam aspek personal dan kaitannya dengan polusi. ”Semua orang memperoleh informasi yang dibutuhkannya di tempat kerja, tepat waktu” Borris (2006:176).

5. *Shitsuke* (Rajin)

Melakukan sesuatu yang benar sebagai kebiasaan/ disiplin mulai dari diri sendiri. “Lakukan apa yang harus dilakukan dan jangan melakukan apa yang tidak boleh dilakukan” Borris (2006:181).

### 2.8.3 Tahap Pengembangan Strategi TPM

Menurut Borris (2006:106) terdapat 3 fase langkah-langkah penerapan *Total Productive Maintenance* mulai dari fase persiapan, fase implementasi, dan fase stabilisasi.

1. Fase Persiapan

Langkah 1 – Pengumuman program TPM

*Top management* menciptakan lingkungan yang akan mendukung berjalannya program TPM. Tanpa dukungan manajemen, akan ada *skeptisme* dan *resistensi* yang kemungkinan bisa melumpuhkan *inisiatif* dalam mewujudkan program TPM. Pengumuman dapat disampaikan secara langsung dan dapat menggunakan brosur maupun poster.

Langkah 2 – Mengadakan program pelatihan secara formal

Program pelatihan akan memberikan informasi dan mengedukasi setiap karyawan di perusahaan tentang aktifitas TPM, manfaat, serta pentingnya kontribusi setiap orang untuk mensukseskannya. Pelatihan ini dapat diberikan oleh praktisi intern (jika ada) atau oleh konsultan *outsourse*.

#### Langkah 3 – Menciptakan struktur organisasi pendukung

Tim ini akan memelihara dan memastikan berjalannya TPM segera setelah program dimulai. Aktifitas berbasis-tim sangat penting untuk kesuksesan TPM. Tim ini umumnya terdiri atas orang-orang dari setiap level organisasi – mulai dari manajemen hingga *shop floor*. Tim inilah yang akan melakukan komunikasi dan memastikan setiap orang bekerja dengan tujuan yang sama.

#### Langkah 4 – Menentukan aturan dasar TPM dan target-target kuantitatif

Lakukan analisa terhadap keadaan saat ini dan tentukan target yang SMART: *Specific, Measurable, Attainable, Realistic* dan *Time-based*. Target yang akan ditingkatkan adalah *availability, performance, dan quality* sehingga meningkatkan nilai OEE. Disamping itu mengoptimalkan MTTF dan MTTR.

#### Langkah 5 – Membuat *master deployment plan* yang mendetail

Perencanaan ini akan mengidentifikasi sumber daya yang dibutuhkan, kapan pelatihan harus diadakan, kapan dilakukan restorasi dan perbaikan mesin, sistem manajemen dan teknologi *maintenance*.

## 2. Fase Implementasi

#### Langkah 6 – *Kick off TPM*

Implementasi dimulai pada tahap ini. Dengan pengamatan minimum 1 tahun. Yang menerapkan delapan pilar TPM.

#### Langkah 7 – Meningkatkan efektifitas setiap mesin yang ada

Tim project akan menganalisa setiap mesin dan melakukan perbaikan yang diperlukan melalui *corrective maintenance*, dan *breakdown maintenance*.

#### Langkah 8 – Mengadakan program *autonomous maintenance* oleh operator

Pembersihan dan inspeksi rutin yang dilakukan operator akan membantu menstabilkan kondisi mesin dan mencegah kerusakan/penurunan performa mesin.

#### Langkah 9 – Mengadakan program *preventive maintenance* yang terencana

Buat jadwal untuk melakukan perawatan untuk mencegah kerusakan di setiap mesin yang ada.

#### Langkah 10 – Meningkatkan kemampuan *maintenance* dan operasional

Bagian maintenance dapat menjadi narasumber dan pengajar yang memberikan pelatihan, saran, dan informasi mengenai mesin kepada tim.

### 3. Fase Stabilisasi

#### Langkah 11 – Kembangkan program *early equipment management*

Membuat prinsip-prinsip perawatan untuk pencegahan pada proses perancangan mesin dengan perencanaan *preventive maintenance*.

#### Langkah 12 – *Continuous improvement*

*Continuous improvement* dilakukan dalam setiap *inisiatif Lean*, organisasi harus mengembangkan pola pikir untuk ‘mengawetkan’ semua perbaikan dan hasil dari perbaikan yang telah didapat. Dengan pengembangan software *Computerized Maintenance Management System* (CMMS) untuk mengoptimasi proses pemeliharaan harian.

## 2.9 Biaya Perawatan

Perhitungan biaya perawatan selalu diusahakan perusahaan untuk meningkatkan efisiensi pada setiap departemen perusahaan. Usaha tersebut dilakukan untuk menentukan kondisi umum dari sudut pandang upaya pengurangan biaya perawatan (Sudrajat, 2011:95). Usaha pengurangan biaya perawatan tidak dapat diukur meskipun merupakan kegiatan harian dari departemen perawatan. Perhitungannya dapat dengan menggunakan *Total cost* dan membandingkan biaya perawatan tahun kemarin dengan total biaya yang direncanakan.

*Preventive cost* (CM) merupakan biaya yang timbul karena adanya perawatan mesin memang sudah dijadwalkan.

$$CM = [(Biaya\ operator + Biaya\ mek) \times MTTR] + harga\ komponen \quad (2-32)$$

Sumber: Putra (2010:61)

Sedangkan *Failure Cost* (CF) merupakan biaya yang timbul karena terjadi kerusakan diluar perkiraan yang menyebabkan mesin produksi berhenti pada saat produksi sedang berjalan.

$$CF = [(Biaya\ operator + Biaya\ mekanik + downtime) \times MTTR] + harga\ komponen \quad (2-33)$$

Sumber: Putra (2010:61)

Keterangan:

TC : *Total Cost*

CM : *Preventive Cost*

CF : *Failure Cost*

