

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini diuraikan mengenai landasan teori dan acuan yang digunakan dalam menyelesaikan permasalahan penelitian. Tinjauan pustaka digunakan sebagai pedoman agar pelaksanaan penelitian dapat terfokus pada tujuan yang ingin dihasilkan dan bersumber dari buku, jurnal ilmiah, internet, penelitian terdahulu, serta sumber-sumber lainnya.

### 2.1 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Suhendra (2005) dalam Jurnal Teknik Industri Vol. 7 No. 2 yang berjudul “Pengukuran Nilai *Overall Equipment Effectiveness* Sebagai Dasar Usaha Perbaikan Proses Manufaktur Pada Lini Produksi”. Dalam penelitian tersebut penulis melakukan pengukuran nilai OEE pada salah satu lini produksi di perusahaan otomotif. Setelah nilai OEE diketahui, dilakukan analisis *equipment losses* dengan menggunakan diagram pareto. Hasil diagram pareto menunjukkan bahwa 50% dari *equipment losses* diakibatkan oleh *planned downtime* dan *trouble quality*. Langkah selanjutnya adalah melakukan analisa pada *trouble quality* tersebut dengan *fishbone diagram*. Dari hasil analisa tersebut penulis memberikan rekomendasi perbaikan.
2. Hasriyono (2009) dalam penelitiannya yang berjudul “Evaluasi Efektifitas Mesin Dengan Penerapan *Total Productive Maintenance* (TPM) di PT Hadi Baru”. Pada penelitian tersebut penulis melakukan evaluasi efektifitas mesin dengan mengukur nilai OEE kemudian dilanjutkan dengan analisis *six big losses*. Hasil persentase dari analisis tersebut kemudian dibuat histogram untuk mengetahui jumlah *losses* yang terbesar. Dari histogram tersebut diketahui bahwa *reduce speed loss* dan *breakdown loss* merupakan faktor terbesar dari *six big losses*. Langkah selanjutnya adalah menganalisa dengan menggunakan *fishbone diagram* pada dua faktor utama tersebut untuk mengetahui penyebab *losses* serta sebagai dasar untuk memberikan rekomendasi perbaikan.
3. Habib dan (2012) dalam Jurnal Teknik POMITS Vol. 1 No. 1 yang berjudul “Pengukuran Nilai *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) Sebagai Pedoman

Perbaikan Efektifitas Mesin CNC *Cutting*”. Dalam penelitian tersebut penulis melakukan pengukuran pada mesin CNC *Cutting* dengan menggunakan OEE untuk mengetahui tingkat efektifitas mesin dan kemudian melakukan analisa *six big losses*. Setelah diketahui hasilnya kemudian dilakukan analisis dengan menggunakan *Root Cause Analysis* untuk mengidentifikasi faktor *root cause* dari terjadinya suatu *value non activity*. Kemudian dilakukan analisa menggunakan FMEA untuk mencari aktifitas paling kritis untuk kemudian dirumuskan alternatif solusinya.

Perbandingan metode yang digunakan antara penelitian terdahulu dan penelitian ini dalam dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Tabel perbandingan penelitian terdahulu dengan penelitian ini

	<b>Suhendra (2005)</b>	<b>Hasriyono (2009)</b>	<b>Habib (2012)</b>	<b>Penelitian ini</b>
<b>Judul penelitian</b>	Pengukuran Nilai <i>Overall Equipment Effectiveness</i> Sebagai Dasar Usaha Perbaikan Proses Manufaktur Pada Lini Produksi	Evaluasi Efektifitas Mesin Dengan Penerapan <i>Total Productive Maintenance</i> (TPM)	Pengukuran Nilai <i>Overall Equipment Effectiveness</i> (OEE) Sebagai Pedoman Perbaikan Efektifitas Mesin CNC Cutting	Peningkatan Efektivitas Pada Mesin <i>Welding</i> Dengan Penerapan Konsep <i>Total Productive Maintenance</i>
<b>Objek penelitian</b>	Industri Otomotif	PT Hadi Baru	PT ALSTOM Power Energy System Indonesia	PT Arthawenasakti Gemilang
<b>Metode</b>	OEE Diagram pareto <i>Fishbone diagram</i>	OEE <i>Six big losses</i> <i>Fishbone diagram</i>	OEE <i>Six Big losses</i> RCA FMEA	OEE <i>Six big losses</i> FTA 8 Pilar TPM

## 2.2 Maintenance

Kata *maintenance* diambil dari bahasa Yunani yaitu *terein* yang artinya merawat, menjaga dan memelihara. Menurut Assauri (2004) *maintenance* atau pemeliharaan adalah kegiatan untuk memelihara atau menjaga fasilitas atau peralatan pabrik dan mengadakan perbaikan atau penyesuaian atau penggantian yang diperlukan agar supaya terdapat suatu keadaan operasi produksi yang memuaskan sesuai dengan apa yang direncanakan. Pemeliharaan mesin merupakan hal yang sering dipermasalahkan antara bagian pemeliharaan dan bagian produksi. Karena bagian pemeliharaan dianggap yang memboroskan biaya, sedang bagian produksi merasa yang merusakkan tetapi juga yang membuat uang.

Pada umumnya sebuah produk yang dihasilkan oleh manusia, tidak ada yang tidak mungkin rusak, tetapi usia penggunaannya dapat diperpanjang dengan melakukan perbaikan yang dikenal dengan pemeliharaan (Corder, 1996). Oleh karena itu, sangat dibutuhkan kegiatan pemeliharaan yang meliputi kegiatan pemeliharaan dan perawatan mesin yang digunakan dalam proses produksi.

Kegiatan pemeliharaan memiliki beberapa tujuan antara lain:

1. Kemampuan produksi dapat memenuhi kebutuhan sesuai dengan rencana produksi.
2. Menjaga kualitas pada tingkat yang tepat untuk memenuhi apa yang dibutuhkan oleh produk itu sendiri dan kegiatan produksi yang tidak terganggu.
3. Untuk membantu mengurangi pemakaian dan penyimpangan yang di luar batas dan menjaga modal yang di investasikan tersebut.
4. Untuk mencapai tingkat biaya pemeliharaan serendah mungkin, dengan melaksanakan kegiatan pemeliharaan secara efektif dan efisien.
5. Menghindari kegiatan pemeliharaan yang dapat membahayakan keselamatan para pekerja.
6. Mengadakan suatu kerja sama yang erat dengan fungsi-fungsi utama lainnya dari suatu perusahaan dalam rangka untuk mencapai tujuan utama perusahaan yaitu tingkat keuntungan (*return on investment*) yang sebaik mungkin dan total biaya yang terendah.

Menurut pendapat Ahyari (2002), fungsi pemeliharaan adalah agar dapat memperpanjang umur ekonomis dari mesin dan peralatan produksi yang ada serta mengusahakan agar mesin dan peralatan produksi tersebut selalu dalam keadaan optimal dan siap pakai untuk pelaksanaan proses produksi. Keuntungan-keuntungan yang akan diperoleh dengan adanya pemeliharaan yang baik terhadap mesin, adalah sebagai berikut:

1. Mesin dan peralatan produksi yang ada dalam perusahaan yang bersangkutan akan dapat dipergunakan dalam jangka waktu panjang.
2. Pelaksanaan proses produksi dalam perusahaan yang bersangkutan berjalan dengan lancar.
3. Dapat menghindarkan diri atau dapat menekan sekecil mungkin terdapatnya kemungkinan kerusakan-kerusakan berat dari mesin dan peralatan produksi selama proses produksi berjalan.
4. Peralatan produksi yang digunakan dapat berjalan stabil dan baik, maka proses dan pengendalian kualitas proses harus dilaksanakan dengan baik pula.

5. Dapat dihindarkannya kerusakan-kerusakan total dari mesin dan peralatan produksi yang digunakan.
6. Apabila mesin dan peralatan produksi berjalan dengan baik, maka penyerapan bahan baku dapat berjalan normal.
7. Dengan adanya kelancaran penggunaan mesin dan peralatan produksi dalam perusahaan, maka pembebanan mesin dan peralatan produksi yang ada semakin baik.

### 2.3 Jenis-jenis *Maintenance*

Menurut Assuari (2004), jenis-jenis *maintenance* diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu *preventive maintenance* dan *corrective/breakdown maintenance*. Penjelasan dari klasifikasi tersebut sebagai berikut:

#### 1. *Preventive Maintenance*

Pemeliharaan pencegahan (*preventive maintenance*) adalah inspeksi periodik untuk mendeteksi kondisi yang mungkin menyebabkan produksi terhenti atau berkurangnya fungsi mesin dikombinasikan dengan pemeliharaan untuk menghilangkan, mengendalikan, kondisi tersebut dan mengembalikan mesin ke kondisi semula atau dengan kata lain deteksi dan penanganan diri kondisi abnormal mesin sebelum kondisi tersebut menyebabkan cacat atau kerugian.

*Predictive maintenance* merupakan *preventive maintenance* yang dilakukan berdasarkan kondisi sesungguhnya mesin. Perawatan ini dilakukan dengan melakukan pemantauan berkala terhadap kondisi mesin yang sebenarnya, efisiensi operasi, dan indikator lain dari kondisi operasi mesin dan meminimalkan jumlah dan biaya dari *failure* mesin (Moblely, 2002).

Assuari (2004) membagi *preventive maintenance* menjadi dua kategori yaitu *routine maintenance* dan *periodic maintenance*.

##### a. *Routine maintenance*

*Routine maintenance* adalah kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan secara rutin misalnya setiap hari. Sebagai contoh dari kegiatan *routine maintenance* adalah pembersihan peralatan, pelumasan, atau pengecekan oli, serta pengecekan isi bahan bakarnya dan termasuk pemanasan dari mesin-mesin selama beberapa menit sebelum dipakai berproduksi sepanjang hari.

b. *Periodic maintenance*

*Periodic maintenance* adalah kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan secara periodik atau dalam jangka waktu tertentu. Contoh setiap minggu sekali, lalu meningkat sebulan sekali, dan setiap tahun sekali, dan seterusnya. *Periodic maintenance* dapat dilakukan pula dengan memakai lamanya jam kerja mesin atau fasilitas produksi sebagai jadwal kegiatan pemeliharaan mesin. Misalnya setiap 100 jam mesin sekali, lalu meningkat 500 jam mesin sekali, dan seterusnya.

Menurut Dhillon (2006), ada 7 elemen dari pemeliharaan pencegahan (*preventive maintenance*) yaitu:

a. Inspeksi

Memeriksa secara berkala (*periodic*) bagian-bagian tertentu untuk dapat dipakai dengan membandingkan fisiknya, mesin, listrik, dan karakteristik lain untuk standar yang pasti.

b. Kalibrasi

Mendeteksi dan menyesuaikan setiap perbedaan dalam akurasi untuk material atau parameter perbandingan untuk standar yang pasti.

c. Pengujian

Pengujian secara berkala (*periodic*) untuk dapat menentukan pemakaian dan mendeteksi kerusakan mesin dan listrik.

d. Penyesuaian

Membuat penyesuaian secara periodik untuk unsur variabel tertentu untuk mencapai kinerja yang optimal.

e. *Servicing*

Pelumas secara periodik, pengisian, pembersihan pada bahan atau barang untuk mencegah terjadinya dari kegagalan baru jadi.

f. Instalasi

Mengganti secara berkala batas pemakaian barang atau siklus waktu pemakaian atau memakai untuk mempertahankan tingkat toleransi yang ditentukan.

g. *Alignment*

Membuat perubahan salah satu barang yang ditentukan elemen variabel untuk mencapai kinerja yang optimal.

Tujuan *preventive maintenance* menurut Prawirosentono (2001) antara lain sebagai berikut:

a. Keamanan mesin dan operator atau tenaga *maintenance*

Masing-masing mesin memiliki ketentuan karakteristik masing-masing. Misalnya temperatur, air, angin, dan oli tidak boleh melebihi standar yang sudah ditentukan. Sedangkan operator harus memperhatikan alat-alat pengaman yang terdapat di dalam mesin tersebut.

b. Kelancaran mesin

Pemberian minyak pelumas secara teratur dan pemeriksaan mesin serta peralatannya secara berkala bertujuan agar dapat menjaga kelancaran mesin sehingga proses produksi dapat berjalan lancar.

c. Mutu produk

*Maintenance* dilakukan agar proses produksi berjalan dengan lancar dan tidak ada hambatan sehingga mutu dari produk dapat sesuai dengan yang diharapkan.

d. Kebersihan mesin dan lingkungan sekitarnya

Lantai disekitar mesin harus bersih dari lumuran minyak yang berlebihan saat melakukan pelumasan serta bebas dari bekas sisa-sisa produk. Hal ini bertujuan untuk menghindari terjadinya kecelakaan bagi pekerja serta menciptakan kenyamanan lingkungan bekerja.

2. *Corrective/breakdown maintenance*

Menurut Render (2001), *corrective Maintenance* adalah pemeliharaan berulang yang terjadi akibat peralatan yang rusak dan harus segera diperbaiki karena keadaan darurat atau karena merupakan sebuah prioritas utama. Sedangkan menurut Tampubolon (2004), *breakdown maintenance* merupakan kegiatan pemeliharaan yang dilakukan setelah terjadinya kerusakan atau terjadi kelainan pada fasilitas dan peralatan sehingga tidak dapat berfungsi dengan baik.

Dari kedua pengertian tersebut dapat disimpulkan bahwa *corrective/breakdown maintenance* merupakan aktivitas pemeliharaan yang dilakukan ketika mesin telah mengalami kerusakan. Jenis *maintenance* ini membutuhkan biaya yang lebih besar daripada *preventive maintenance*. Hal ini dikarenakan akibat yang ditimbulkan saat mesin rusak pada saat proses produksi berlangsung seperti proses produksi yang harus berhenti untuk menunggu perbaikan, keterlambatan penyelesaian produk, dan lain sebagainya yang menyebabkan kerugian yang lebih besar daripada *preventive maintenance*.

## 2.4 Total Productive Maintenance

*Total productive maintenance* (TPM) adalah konsep pemeliharaan yang melibatkan seluruh pekerja yang bertujuan mencapai efektivitas pada seluruh sistem produksi melalui partisipasi dan kegiatan pemeliharaan yang produktif, proaktif, dan terencana (Suzaki, 2001).

*Total Productive Maintenance* merupakan pengembangan dari konsep *preventive maintenance* yang dikenal pada tahun 1950, yang kemudian berkembang menjadi *productive maintenance* pada tahun 1960. TPM pertama kali dikenalkan di Jepang pada tahun 1969 oleh Nipposendo Co.Ltd, bagian grup Toyota, dan mulai berkembang pada tahun 1970. Kata “*Total*” pada *Total Productive Maintenance* mempunyai tiga pengertian yang menggambarkan prinsip TPM sebagai berikut (Nakajima, 1988):

### 1. *Total effectiveness*

Untuk mendapatkan efisiensi yang maksimal sehingga mempunyai nilai ekonomis yang tinggi dan keuntungan yang optimum, serta mengurangi hal-hal yang tidak berguna dan pemborosan.

### 2. *Total maintenance system*

Mencakup perencanaan perawatan mesin dan merupakan konsep pemeliharaan yang mandiri dari seluruh aspek siklus kerja peralatan.

- a. *Maintenance prevention* yaitu memperpanjang daur hidup mesin.
- b. *Maintainability improvement* yaitu memperpendek waktu yang diperlukan untuk memperbaiki mesin.
- c. *Preventive maintenance* yaitu perawatan pencegahan.

### 3. *Total participation all of employee*

Mencakup perawatan mandiri oleh operator melalui kegiatan-kegiatan kelompok kecil serta keikutsertaan seluruh karyawan dan manajemen.

Tujuan utama dari penerapan TPM yang dilakukan adalah sebagai upaya peningkatan produktivitas dan efisiensi dengan cara menjaga mesin atau peralatan selalu dalam kondisi yang optimal sehingga menghasilkan produk yang bermutu tinggi dengan biaya yang ditekan serendah mungkin. Adapun beberapa tujuan penerapan dari TPM antara lain sebagai berikut:

1. Memaksimalkan efektifitas kerja mesin-mesin dan peralatan secara menyeluruh.
2. Mengurangi waktu tunggu (*delay*) saat operasi.
3. Meningkatkan ketersediaan (*availability*) atau menambah waktu yang produktif.

4. Meningkatkan dan menjamin kelangsungan umur pemakaian peralatan atau mesin semaksimal mungkin.
5. Melaksanakan pemeliharaan pencegahan.
6. Membangun kerjasama semua bagian yang terkait dalam suatu metode terpadu yang melibatkan bagian perencanaan, bagian produksi, dan bagian *maintenance*.

## 2.5 Overall Equipment Effectiveness

*Overall equipment effectiveness* (OEE) merupakan salah satu *tools* dalam TPM yang sangat efektif untuk mengetahui tingkat efektifitas mesin dalam suatu proses produksi. Wiliamson (2006) menyatakan bahwa OEE merupakan alat pengukur kinerja keseluruhan peralatan (*complete, inclusive, whole*), dalam arti bahwa peralatan dapat bekerja seperti yang seharusnya. OEE dalam perhitungannya berdasarkan pada pengukuran nilai *availability, performance, dan quality* dari produk.

Penjelasan mengenai *availability, performance, dan quality* dalam Vorne Industries (2008) sebagai berikut:

### 1. Availability rate

*Availability rate* merupakan perbandingan antara *operation time* dengan *loading time*. Besarnya persentase dari *availability rate* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-1).

$$\text{Availability} = \frac{\text{operating time}}{\text{planned production time}} \times 100\% \quad (2-1)$$

Keterangan:

*Operating time* : waktu mesin bekerja tanpa terjadi kerusakan (aktual)

*Planned production time* : waktu mesin bekerja yang direncanakan

### 2. Performance rate

*Performance rate* merupakan pengukuran nilai efektivitas kegiatan produksi. Besarnya persentase dari *performance rate* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-2).

$$\text{Performance} = \frac{\frac{\text{total pieces}}{\text{operating time}}}{\text{ideal run rate}} \times 100\% \quad (2-2)$$

Keterangan:

*Ideal run rate* : jumlah yang dihasilkan oleh mesin dalam keadaan optimal

*Total pieces* : jumlah produk yang dihasilkan



### 3. *Rate of Quality*

*Rate of Quality* merupakan pengukuran efektifitas produksi berdasarkan kualitas produk yang dihasilkan. Besarnya persentase dari *rate of quality* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-3).

$$Quality = \frac{\text{good pieces}}{\text{total pieces}} \quad (2-3)$$

Keterangan:

*Good pieces*: produk baik yang dihasilkan (tidak cacat)

### 4. Perhitungan *Overall Equipment Effectiveness* (OEE)

Nilai *Overall Equipment Effectiveness* didapatkan dengan mengalikan hasil pengukuran dari *availability rate*, *performance rate*, dan *rate of quality*. Persamaan dari *Overall Equipment Effectiveness* dapat dilihat pada persamaan (2-4).

$$OEE = Availability \times Performance \times Quality \quad (2-4)$$

Standar nilai OEE global (*World Class OEE*) dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 *World class OEE*

<i>OEE factor</i>	<i>World Class</i>
<i>Availability</i>	90.0%
<i>Performance</i>	95.0%
<i>Quality</i>	99.9%
OEE	85.0%

Sumber: Vorne Industries (2008)

## 2.6 *Six Big Losses*

Salah satu tujuan utama dari *Total Productive Maintenance* dan *Overall Equipment Effectiveness* adalah untuk mengurangi dan/atau mengeliminasi permasalahan utama yang sering menyebabkan berkurangnya efisiensi pada perusahaan manufaktur yang disebut *Six Big Losses*. *Six big losses* diklasifikasikan menjadi tiga kelompok berdasarkan akibat yang ditimbulkan, antara lain sebagai berikut (Wauters, 2002):

### 1. *Down time losses*

#### a. *Breakdowns*

*Breakdowns* merupakan masalah yang terbesar dari *six big losses* karena menimbulkan dampak kerugian pada perusahaan seperti proses produksi yang harus berhenti untuk menunggu perbaikan, keterlambatan penyelesaian produk, dan lain sebagainya. Contoh kejadian yang menyebabkan *breakdown losses* antara lain kerusakan mesin dan *maintenance* yang tidak terencana. Besarnya persentase efektifitas mesin yang hilang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-5) dan jumlah *time losses* dapat dihitung dengan persamaan (2-6).

$$\text{Breakdowns losses} = \frac{\text{waktu kerusakan}}{\text{planned production time}} \times 100\% \quad (2-5)$$

Keterangan:

Waktu kerusakan: waktu mesin berhenti akibat kerusakan

$$\text{Time Losses (TL}_{BS}) = \% \text{ breakdown losses} \times \text{planned production time} \quad (2-6)$$

Keterangan:

*Time losses*: jumlah waktu yang hilang

b. *Setup and adjustments*

*Setup and adjustments* merupakan *losses* yang terjadi akibat aktivitas *setup* atau *changeover* mesin, kekurangan material, kekurangan operator, penyesuaian mesin, dan waktu pemanasan mesin. Besarnya persentase efektivitas mesin yang hilang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-7) dan jumlah *time losses* dapat dihitung dengan persamaan (2-8).

$$\text{Setup and adjustment losses} = \frac{\text{waktu setup}}{\text{planned production time}} \times 100\% \quad (2-7)$$

Keterangan:

Waktu *setup*: waktu yang dibutuhkan untuk mempersiapkan mesin sampai dapat beroperasi normal

$$\text{Time Losses (TL}_{SA}) = \% \text{ setup and adjustment losses} \times \text{planned production time} \quad (2-8)$$

2. *Speed loss*

a. *Small stops*

*Small stops* merupakan *losses* yang diakibatkan karena terhalangnya aliran proses produksi, komponen yang macet, sensor yang terhalangi, pembersihan, pengecekan, dan juga dikarenakan faktor eksternal. Besar persentase *small stops* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-9) dan jumlah *time losses* dapat dihitung dengan persamaan (2-10).

$$\text{Small stops} = \frac{\text{nonproductive time}}{\text{planned production time}} \times 100\% \quad (2-9)$$

Keterangan:

*Nonproductive time*: waktu yang hilang saat proses produksi berlangsung

$$\text{Time Losses (TL}_{SS}) = \% \text{ small stops} \times \text{planned production time} \quad (2-10)$$

b. *Reduced speed*

*Reduced speed* merupakan *losses* yang disebabkan karena pengurangan kecepatan mesin dari yang seharusnya. Contohnya adalah *running* mesin yang buruk, mesin yang berjalan dibawah kapasitas yang seharusnya, pemasangan

peralatan, operator yang tidak efisien. Besar persentase *reduced speed* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-11) dan jumlah *time losses* dapat dihitung dengan persamaan (2-12).

$$\text{Reduced speed} = \frac{\text{operating time} - (\text{ideal cycle time} \times \text{total pieces})}{\text{planned production time}} \times 100\% \quad (2-11)$$

Keterangan:

*Ideal cycle time*: waktu siklus minimum dalam keadaan optimal

$$\text{Time Losses (TL}_{RS}) = \% \text{ reduced speed} \times \text{planned production time} \quad (2-12)$$

### 3. *Quality loss*

#### a. *Startup rejects*

*Startup rejects* merupakan cacat produk yang diakibatkan percobaan pada saat melakukan *setting* mesin sampai mesin beroperasi secara normal. Besar persentase *startup rejects* dapat dihitung dengan persamaan (2-13) dan jumlah *time losses* dapat dihitung dengan persamaan (2-14).

$$\text{Startup rejects} = \frac{\text{ideal cycle time} \times \text{jumlah cacat saat setting}}{\text{planned production time}} \times 100\% \quad (2-13)$$

Keterangan:

Jumlah cacat saat *setting*: jumlah cacat produk saat melakukan *setting* mesin

$$\text{Time Losses (TL}_{SR}) = \% \text{ startup rejects} \times \text{planned production time} \quad (2-14)$$

#### b. *Production rejects*

*Production rejects* merupakan *losses* yang disebabkan karena adanya produk yang tidak sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan. Besar persentase *production rejects* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-15) dan jumlah *time losses* dapat dihitung dengan persamaan (2-16).

$$\text{Production rejects} = \frac{\text{ideal cycle time} \times \text{jumlah cacat saat produksi}}{\text{planned production time}} \times 100\% \quad (2-15)$$

Keterangan:

Jumlah cacat saat produksi: jumlah cacat saat proses produksi berlangsung

$$\text{Time Losses (TL}_{PR}) = \% \text{ production rejects} \times \text{planned production time} \quad (2-16)$$

## 2.7 *Fault Tree Analysis*

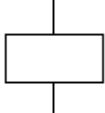



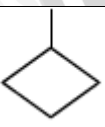
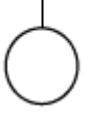

Dalam Panjaitan (2011), *Fault Tree Analysis* adalah suatu analisis pohon kesalahan yang secara sederhana dapat diuraikan sebagai suatu teknik analitis. Pohon kesalahan adalah suatu model grafis yang menyangkut berbagai penyebab paralel dan kombinasi kesalahan-kesalahan yang akan mengakibatkan kejadian dari peristiwa yang tidak diinginkan yang sudah didefinisikan sebelumnya, atau juga dapat diartikan merupakan

gambaran hubungan timbal balik yang logis dari peristiwa-peristiwa dasar yang mendorong ke arah peristiwa yang tidak diinginkan menjadi peristiwa puncak dari pohon kesalahan tersebut.

Dalam membangun model pohon kesalahan (*fault tree*) dilakukan dengan cara wawancara dengan manajemen perusahaan dan melakukan pengamatan langsung terhadap proses produksi di lapangan. Selanjutnya sumber-sumber kecelakaan kerja tersebut digambarkan dalam bentuk model pohon kesalahan (*fault tree*). Analisis pohon kesalahan (*Fault Tree Analysis*) merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk menganalisa akar penyebab kerusakan mesin.

Adapun simbol-simbol dalam *Fault Tree Analysis* menurut Vesely dkk (1981) dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Simbol *fault tree analysis*

Simbol	Keterangan
	<i>Top Event</i> Kejadian puncak yang harus dijelaskan lebih rinci / <i>incident</i> yang terjadi
	Gerbang OR ( <i>Or Gate</i> ) Kejadian di atas <i>symbol</i> muncul jika " <i>input event</i> " meskipun hanya salah satu dapat menyebabkan kejadian di atasnya.
	<i>Logic gate (AND Gate)</i> Kejadian di atas <i>symbol</i> muncul jika semua " <i>input event</i> " bersama-sama menyebabkan kejadian di atasnya.
	<i>Transferred event</i> Segitiga digunakan "sebagai <i>symbol transfer</i> ". Garis dari puncak segitiga menunjukkan " <i>transfer in</i> ", dan garis dari samping menunjukkan " <i>transfer out</i> ". Biasanya digunakan untuk menjamin bahwa perkembangan " <i>sub tree</i> " ada di halaman lain atau pada bagian diagram yang cocok.
	<i>Undeveloped Event (Basic Event)</i> : Suatu kejadian yang tidak perlu diuraikan lagi karena sudah tersedia informasi yang cukup.
	<i>Basic Event</i> Suatu kejadian yang tidak membutuhkan pengembangan lebih lanjut/tidak perlu diuraikan lagi, biasanya berasal dari data empiris atau analisa fisik kegagalan.
	Simbol elips Simbol kondisi yang disisipkan disamping <i>event</i> untuk menunjukkan <i>event</i> itu hanya akan terjadi apabila kondisi tersebut dapat dipenuhi

Sumber: Vesely dkk (1981)

*Fault Tree Analysis* menggunakan langkah-langkah terstruktur dalam melakukan analisis pada sistem. Adapun langkah-langkah FTA, yaitu:

1. Mengidentifikasi kejadian/peristiwa terpenting dalam sistem (*top level event*)

Langkah pertama dalam FTA ini merupakan langkah penting karena akan mempengaruhi hasil analisis sistem. Pada tahap ini, dibutuhkan pemahaman tentang sistem dan pengetahuan tentang jenis-jenis kerusakan (*undesired event*) untuk mengidentifikasi akar permasalahan sistem. Pemahaman tentang sistem dilakukan dengan mempelajari semua informasi tentang sistem dan ruang lingkungannya.

2. Membuat pohon kesalahan.

Setelah permasalahan terpenting teridentifikasi, langkah berikutnya adalah menyusun urutan sebab akibat pohon kesalahan. Pembuatan pohon kesalahan dilakukan dengan menggunakan simbol-simbol *Boolean*. Standarisasi simbol-simbol tersebut diperlukan untuk komunikasi dan konsistenan pohon kesalahan.

3. Menganalisis pohon kesalahan.

Analisis pohon kesalahan diperlukan untuk memperoleh informasi yang jelas dari suatu sistem dan perbaikan-perbaikan apa yang harus dilakukan pada sistem. Tahap-tahap analisis pohon kesalahan dapat dibedakan menjadi 3, yaitu:

a. Menyederhanakan pohon kesalahan.

Tahap pertama analisis pohon kesalahan adalah menyederhanakan pohon kesalahan dengan menghilangkan cabang-cabang yang memiliki kemiripan karakteristik. Tujuan penyederhanaan ini adalah untuk mempermudah dalam melakukan analisis sistem lebih lanjut

b. Menentukan peluang munculnya kejadian atau peristiwa terpenting dalam sistem (*top level event*).

Setelah pohon kesalahan disederhanakan, tahap berikutnya adalah menentukan peluang kejadian yang memiliki probabilitas paling tinggi dalam sistem. Pada langkah ini, peluang semua *input* dan logika hubungan digunakan sebagai pertimbangan penentuan peluang.

c. Melakukan *review* hasil analisis.

*Review* hasil analisis dilakukan untuk mengetahui kemungkinan perbaikan yang dapat dilakukan pada sistem.

*Output* yang diperoleh setelah melakukan *Fault Tree Analysis* adalah peluang munculnya kejadian terpenting dalam sistem dan memperoleh akar permasalahan sebabnya. Akar permasalahan tersebut kemudian digunakan untuk memperoleh prioritas perbaikan permasalahan yang tepat pada sistem. Grafik enumerasi akan menggambarkan bagaimana kerusakan bisa terjadi, penggambaran grafik enumerasi menggunakan simbol-simbol *boolean*. Grafik enumerasi ini merupakan pohon

kesalahan (*fault tree*) yang akan dianalisis berdasarkan peluang masing-masing penyebab kesalahan. Grafik enumerasi disebut pohon kesalahan (*fault tree*) karena susunannya seperti pohon, yaitu mengerucut pada satu kejadian serta semakin ke bawah dipecah menjadi cabang-cabang kejadian yang lain.

Kelebihan *Fault Tree Analysis* dapat terlihat dengan jelas, karena *tools* ini dapat digunakan untuk kualitatif dan kuantitatif analisis. Metode yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Kuantitatif

Metode kuantitatif pada *Fault Tree Analysis* ini menggunakan probabilitas. Jadi dapat digunakan untuk menentukan mana risiko yang harus diprioritaskan berdasarkan probabilitas kejadian yang terbesar.

2. Kualitatif

Metode ini menggunakan *Boolean*, makudnya dalam menentukan prioritas risiko dapat digunakan *shortcut minimum* yang biasa kita analisa menggunakan fungsi “and” dan “or”. Meskipun bersifat kualitatif tetapi tidak perlu menggunakan *ranking* di *Fault Tree Analysis*, sehingga subjektifitas dapat dikurangi.

*Fault Tree Analysis* digambarkan dalam bentuk hirarki. Pada bagian atas terdapat *top event*. *Top event* ini merupakan suatu kejadian yang tidak diinginkan. Selanjutnya setelah *top event* di bawahnya akan ada *fault event* yang lain. Ada tiga tipe *event* menurut Foster (2004), yaitu:

1. *Primary Event*

*Primary event* adalah sebuah tahap dalam proses penggunaan produk yang mungkin saat gagal. Sebagai contoh saat memasukkan kunci ke dalam gembok, kunci tersebut mungkin gagal untuk pas atau sesuai dengan gembok. *Primary event* lebih lanjut dibagi menjadi tiga kategori, yaitu:

- a. *Basic events* yaitu kesalahan awal yang tidak memerlukan kejadian di bawah untuk menampilkan bagaimana terjadinya.
- b. *Undeveloped events* yaitu kesalahan yang tidak memerlukan akibat yang signifikan/ tidak diperluas karena informasi yang tersedia sudah cukup.
- c. *External events* yaitu kejadian normal yang diharapkan dan tidak mempertimbangkan suatu kesalahan.

## 2. *Intermediate Event*

*Intermediate event* adalah hasil dari kombinasi kesalahan-kesalahan, beberapa diantaranya mungkin *primary events*. *Intermediate event* ini ditempatkan di tengah-tengah sebuah *fault tree* dan kejadian ini berbentuk seperti persegi.

## 3. *Expanded Event*

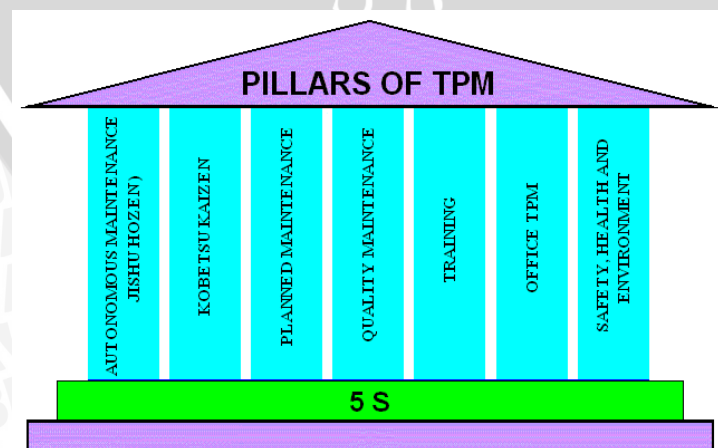
*Expand event* membutuhkan sebuah *fault tree* yang terpisah dikarenakan kompleksitasnya. Untuk *fault tree* yang baru ini, *expanded event* adalah *undesired event* dan diletakkan pada bagian atas *fault tree*.

Selanjutnya setiap *fault* ini akan saling terhubung secara horizontal dengan hubungan “*and*” atau “*or*”. Jika hubungan yang terjadi antara dua kejadian adalah “*and*” berarti kejadian di atasnya baru dapat terjadi jika kedua kejadian dibawah terjadi, namun jika penghubungnya adalah “*or*” maka kejadian di atasnya dapat terjadi jika salah satu kejadian di bawahnya terjadi.

Pada FTA yang paling penting bagi penggunaannya adalah menemukan *shortcut minimum*. *Shortcut minimum* ini merupakan jarak terpendek antara *primary fault* dengan *top event*. Semakin pendek jaraknya biasanya akan semakin besar probabilitas terjadinya. Oleh karena itu, diambil *shortcut* terpendek. FTA ini dapat melihat risiko yang terjadi akibat kejadian yang simultan. Dengan kata lain, hal ini akan membuat identifikasi risiko semakin dipercaya dan valid.

## 2.8 Delapan Pilar *Total Productive Maintenance*

Delapan pilar TPM dalam *TPM Resource* (2009) dibagi menjadi tujuh pilar utama dengan 5 S sebagai dasarnya. Penggambaran delapan pilar TPM dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Delapan Pilar TPM  
Sumber: *TPM Resource* (2009)

Penjelasan dari delapan pilar TPM adalah sebagai berikut:

1. 5S

5S merupakan suatu metode yang digunakan untuk meningkatkan kualitas kerja melalui tindakan dasar dalam mengelola lingkungan kerja agar menjadi bersih, aman, dan nyaman sehingga kegiatan kerja tidak terganggu dan sasaran pekerjaan dapat terpenuhi. Selain itu 5S juga merupakan sebuah *tools* yang dirancang untuk menghilangkan pemborosan. 5S diambil dari huruf pertama bahasa kanji Jepang, yaitu *Seiri*, *Seiton*, *Seiso*, *Seiketsu*, dan *Shitsuke*. Di Indonesia, 5S biasa diistilahkan dengan 5P, 5R, atau 5K seperti pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 5S dalam bahasa Jepang dan Indonesia

JEPANG	INDONESIA		
5S	5P	5R	5K
<i>Seiri</i>	Pemilahan	Ringkas	Keteraturan
<i>Seiton</i>	Penataan	Rapi	Kerapian
<i>Seiso</i>	Pembersihan	Resik	Kebersihan
<i>Seiketsu</i>	Pemantapan	Rawat	Kepatuhan
<i>Shitsuke</i>	Pembiasaan	Rajin	Kedisiplinan

Penjelasan dari masing-masing elemen dalam 5S adalah sebagai berikut:

- Seiri* berarti memisahkan barang yang benar-benar diperlukan kemudian menyingkirkan yang tidak diperlukan dari tempat kerja.
- Seiton* adalah kegiatan menata peralatan dan perlengkapan kerja dengan rapi sehingga memudahkan untuk mencari, menemukan, serta mengembalikan peralatan kerja tersebut.
- Seiso* adalah kegiatan membersihkan tempat kerja, mesin, perlengkapan, dan peralatan kerja dari debu dan kotoran yang melekat secara teratur agar tempat kerja selalu dalam keadaan bersih dan terhindar dari kerusakan, degradasi, dan *abnormality*.
- Seiketsu* adalah kegiatan memelihara fasilitas tempat kerja, mesin, peralatan, serta barang secara teratur agar tidak lagi dijumpai barang yang tidak diperlukan di area kerja, tempat kerja menjadi teratur, bebas dari kotoran/kerusakan, kondisi optimal senantiasa terjaga dan dipertahankan.
- Shitsuke* adalah kegiatan membudayakan dan membiasakan bekerja sesuai dengan sistem dan prosedur serta mengembangkan perilaku karyawan yang positif di tempat kerja sebagai sebuah kedisiplinan.



## 2. *Autonomous Maintenance (Jishu Hozen)*

*Autonomous Maintenance* atau perawatan mandiri adalah kegiatan yang dirancang untuk melibatkan operator dengan sasaran utama untuk mengembangkan pola hubungan antara manusia, mesin, dan tempat kerja yang bermutu. Perawatan mandiri ini juga dirancang untuk melibatkan operator dalam merawat mesinnya sendiri. Kegiatan tersebut seperti: pembersihan, pelumasan, pengencangan baut atau mur, pengecekan harian, pendeteksian penyimpangan, dan reparasi sederhana. Tujuan dari kegiatan ini adalah untuk mengembangkan operator yang mampu mendeteksi berbagai sinyal dari kerugian (*loss*). Selain itu juga bertujuan untuk menciptakan tempat kerja yang rapi dan bersih, sehingga setiap penyimpangan kondisi normal dapat dideteksi dalam waktu sekejap.

*Visual Control* sebagai *tool* yang membantu penerapan *Autonomous Maintenance*. Area kerja dituntut untuk memiliki tingkat fleksibilitas yang tinggi serta menghasilkan barang dengan kualitas yang prima. Hal tersebut membutuhkan kemampuan untuk memahami apa yang terjadi di area kerja secara instan. *Visual Control* adalah alat bantu *visual* yang akan memudahkan setiap orang di area kerja, baik pihak manajemen maupun pelaku di area kerja untuk memantau proses dan permasalahannya dengan tepat dalam waktu sekejap. Dengan menggunakan *Visual Control*, berbagai penyimpangan dan pemborosan (*waste*) di area kerja dapat terungkap untuk dikoreksi dan dieliminasi secepatnya. Lebih dari itu, *Visual Control* dapat juga digunakan untuk menemukan potensi *improvement* di area kerja. Contoh *Visual Control*: *Visual control* pada pipa, *control panel*, sensor, alat ukur, peralatan elektrik, pelumasan, belt, motor dan *spare part*.

## 3. *Kobetsu Kaizen*

*Kaizen* berasal dari kata “*Kai*” yang berarti perubahan, dan “*Zen*” yang berarti baik (lebih baik). Pada dasarnya *kaizen* adalah perbaikan kecil tapi dilakukan secara terus-menerus dan melibatkan semua orang dalam organisasi. Pilar ini bertujuan untuk mengurangi *losses* yang terjadi di tempat kerja yang dapat mempengaruhi efisiensi. Dengan menggunakan suatu prosedur yang rinci dan cermat, dapat dilakukan eliminasi *losses* dengan menggunakan berbagai *tools kaizen* yang sistematis.

#### 4. *Planned Maintenance*

*Planned Maintenance* (perawatan yang terencana) adalah suatu cara perawatan yang diorganisir dan dilakukan dengan didasarkan perencanaan yang telah dibuat sebelumnya. *Planned maintenance* dibagi menjadi dua, yaitu *preventive maintenance* dan *corrective maintenance*. Dengan *planned maintenance* diharapkan dapat menurunkan *total downtime* karena adanya aktivitas perawatan mesin secara teratur.

#### 5. *Quality Maintenance*

Sasarannya adalah mencapai *zero defect* dengan mengawasi tindakan perawatan yang dilakukan. Divisi *quality assurance* memegang peranan penting untuk pilar ini. Sasaran dari *quality maintenance* yaitu:

- a. Melakukan evaluasi dan perbaikan terhadap kerusakan atas mutu dan kontrol performansi mesin.
- b. Fokus pada kegiatan *Quality Source and Quality Assurance*.
- c. Penerapan sistem *Preventive Maintenance* yang efektif dalam ketepatan waktu dan biaya.

#### 6. *Training*

*Training* bertujuan untuk meningkatkan kemampuan operator meliputi bagaimana cara bekerja secara tim dan bekerjasama, serta meningkatkan kemampuan memecahkan masalah dan kemampuan menguasai peralatan dan mesin. Dengan diberikannya *training*, diharapkan setiap operator mesin menguasai mesinnya sehingga dapat mengoperasikan mesin dengan benar dan efisien. Serta bagi operator teknisi dapat memahami komponen-komponen dalam mesin sehingga dapat mempermudah saat proses perbaikan jika terjadi kerusakan.

#### 7. *Office TPM*

Selain penerapan di lapangan, implementasi TPM juga harus dilakukan di sistem administrasi perkantoran sehingga program TPM ini dapat berjalan secara sinergis.

Sasaran dari *office TPM* yaitu:

- a. Membina sistem perkantoran yang efektif dan efisien.
- b. Seluruh departemen yang mendukung proses produksi, penyerahan produk dan pelayanan pelanggan berpartisipasi aktif dalam kegiatan TPM untuk meningkatkan efektifitas kinerja bisnis.

c. Meningkatkan kecepatan, efektifitas dan kesederhanaan sehingga bisnis proses menjadi lebih ringkas dan tanggap terhadap kebutuhan pelanggan dan meningkatkan daya saing perusahaan.

8. *Safety, Health and Environment*

Pilar ini fokus untuk menciptakan suatu tempat kerja yang aman, nyaman, dan tidak berbahaya bagi para pekerja. Sasaran dari *Safety, Health and Environment* yaitu:

- a. Operasi bisnis yang berbasis kuat pada dukungan kegiatan Keselamatan kerja dan lingkungan.
- b. Pelatihan dan implementasi pada seluruh aspek bisnis proses untuk mencapai *Zero Accident and Zero Pollution*.
- c. Tunduk dan mematuhi secara terhadap peraturan Pemerintah dan persyaratan pelanggan untuk mengimplementasikan kebijakan HSE.

