Bab 2
Landasan Teori

2.1. Sistem Perawatan dan Manufaktur

Kompetisi persaingan produk yang makin tak terkendali, kelancaran proses produksi menjadi salah satu faktor krisis yang perlu diberikan prioritas perhatian dengan cara menjaga agar kondisi fasilitas produksi atau mesin yang digunakan dapat beroperasi dengan baik. Pada saat mesin atau komponen mengalami kerusakan atau kegagalan secara otomatis akan mengakibatkan terganggunya proses produksi dan bahkan proses produksinya terhenti sehingga sangat dimungkinkan target produksi yang ditetapkan tidak dapat tercapai dan pada akhirnya akan dapat merugikan perusahaan. Konsekwensi ketidakmampuan perusahaan untuk memberikan kepuasan kepada konsumen berupa produk yang sesuai spesifikasi dan ketepatan pengiriman barang kepada konsumen akan berakibat pada beralihnya pelanggan tetap dan tidak bertambahnya pelanggan baru.

Berbagai entitas yang bisa dikendalikan dalam sistem perawatan seperti perawatan penggantian komponen, perawatan pengendalian, perawatan total dan bahkan sistem perawatan terkait keandalan operator, pengelolaan sistem perawatan dilakukan dengan tujuan memberikan jaminan terhadap beroperasinya fasilitas produksi serta berjalan dengan baiknya interaksi manusia mesin dalam proses operasi sebuah produksi. Manajemen sistem perawatan terpadu memiliki peranan yang signifikan terhadap ketercapaian visi perusahaan, dimana elemen perawatan berupa fasilitas (*machine*), penggantian komponen atau spare part (*material*), biaya perawatan (*money*), perencanaan kegiatan perawatan (*method*), eksekutor perawatan (*man*) saling terkait dan berinteraksi dalam kegiatan perawatan di industri. Karena hal tersebut, perlu adanya suatu sistem perawatan yang mampu meminimasi terjadinya kegagalan pada proses produksi.

2.2. Pengertian Perawatan

Dalam bahasa Indonesia, pemakaian istilah maintenance seringkali diterjemahkan sebagai perwatan atau pemeliharaan. Pemeliharaan atau perawatan (*maintenance*) adalah konsepsi dari semua aktifitas yang diperlukan untuk menjaga atau mempertahankan kualitas fasilitas atau mesin agar dapat berfungsi dengan baik seperti seperti kondisi awalnya. Lebih jauh Ebeling (1997) mendefinisikan perawatan sebagai bentuk kegiatan yang dilakukan untuk mencapai hasil yang mampu mengembalikan item atau mempertahankannya pada kondisi yang selalu dapat berfungsi, perawatan juga merupakan kegiatan pendukung yang menjamin kelangsungan mesin dan peralatan sehingga pada saat dibutuhkan dapat dipakai sesuai dengan yang diharapkan. Sehingga kegiatan perawatan merupakan seluruh rangkaian aktivitas yang dilakukan untuk mempertahankan unit-unit pada kondisi operasional dan aman, dan apabila terjadi kerusakan maka dapat dikendalikan pada kondisi operasional yang handal dan aman.

Dalam menjaga berkesinambungan proses produksi pada fasilitas dan peralatan seringkali dibutuhkan kegiatan pemeliharaan seperti pembersihan (*cleaning*), inspeksi (*inspection*), pelumasan (*oiling*) serta pengadaan suku cadang (stock spare part) dari komponen yang terdapat dalam dasilitas industri. Masalah perawatan mempunyai kaitan erat dengan tindakan pencegahan (*preventive*) dan perbaikan (*corrective*). Tindakan pada problematika perawatan tersebut dapat berupa :

- Pemeriksaan (*inspection*), yaitu tindakan yang ditujukan untuk sistem atau mesin agar dapat mengetahui apakah sistem berada pada kondisi yang diinginkan.
- *Service*, yaitu tindakan yang bertujuan untuk menjaga suatu sistem atau mesin yang biasanya telah diatur dalam buku petunjuk pemakaian mesin.
- Penggantian komponen (*replacement*), yaitu tindakan penggantian komponen-komponen yang rusak atau tidak memenuhi kondisi yang diinginkan. Tindakan ini dilakukan secar mendadak atau dengan perencanaan pencegahan terlebih dahulu.

- Perbaikan (*repairment*), yaitu tindakan perbaikan yang dilakukan pada saat terjadi kerusakan kecil.
- *Overhaul*, tindakan besar-besaran yang biasanya dilakukan pada akhir periode tertentu.

2.3. Tujuan perawatan

Proses perawatan secara umum bertujuan untuk memfokuskan dalam langkah pencegahan untuk mengurangi atau bahkan menghindari kerusakan dari peralatan dengan memastikan tingkat keandalan dan kesiapan serta meminimalkan biaya perawatan.

Proses perawatan atau sistem perawatan merupakan sub sistem dari sistem produksi, dimana tujuan sistem produksi tersebut adalah :

- Memaksimasi profit dari peluang pasar yang tersedia.
- Memperhatikan aspek teknis dan ekonomis pada saat konversi material menjadi produk.

Sehingga sistem perawatan dapat membantu tercapainya tujuan tersebut dengan adanya peningkatan profit dan kepuasan pelanggan, hal tersebut dilakukan dengan pendekatan nilai fungsi (*function*) dari fasilitas atau peralatan produksi yang ada (Duffuaa et al,1999) dengan cara :

- Meminimasi *downtime*
- Memperbaiki kualitas
- Meningkatkan produktivitas
- Menyerahkan pesanan tepat waktu

2.4. Strategi Perawatan

Filosofi perawatan untuk fasilitas produksi pada dasarnya adalah menjaga level maksimum konsistensi optimasi produksi dan availabilitas tanpa mengesampingkan keselamatan. Untuk mencapai filosofi tersebut digunakan strategi perawatan (*maintenance strategies*). Proses perawatan mesin yang

dilakukan oleh suatu perusahaan umumnya terbagi dalam dua bagian yaitu perawatan terencana (*planned maintenance*) dan perawatan tidak terencana (*unplanned maintenance*).

Strategi dalam perawatan dapat diuraikan sebagaimana berikut :

2.4.1. Penggantian (*Replacement*)

Merupakan penggantian peralatan atau komponen untuk melakukan perawatan. Kebijakan penggantian ini dilakukan pada seluruh atau sebagian (*part*) dari sebuah sistem yang dirasa perlu dilakukan upaya penggantian oleh karena tingkat utilitas mesin atau keandalan fasilitas produksi berada pada kondisi yang kurang baik. Tujuan strategi perawatan penggantian antara lain adalah untuk menjamin berfungsinya suatu sistem sesuai pada keadaan normalnya.

2.4.2. Perawatan peluang (*Opportunity maintenance*)

Perawatan dilakukan ketika terdapat kesempatan, misalnya perawatan pada saat, mesin sedang shut down. Perawatan peluang dimaksudkan agar tidak terjadi waktu menganggur (*idle*) baik oleh operator maupun petugas perawatan, perawatan bisa dilakukan dengan skala yang paling sederhana seperti pembersihan (*cleaning*) maupun perbaikan fasilitas pada sistem produksi (*repairing*).

2.4.3. Perbaikan (*Overhaul*)

Merupakan pengujian secara menyeluruh dan perbaikan (*restoration*) pada sedikit komponen atau sebagian besar komponen sampai pada kondisi yang dapat diterima. Perawatan perbaikan merupakan jenis perawatan yang terencana dan biasanya proses perawatannya dilakukan secara menyeluruh terhadap sistem, sehingga diharapkan sistem atau sebagian sub sistem berada pada kondisi yang handal.

2.4.4. Perawatan pencegahan (*Preventive maintenance*)

Merupakan perawatan yang dilakukan secara terencana untuk mencegah terjadinya potensi kerusakan. *Preventive maintenance* adalah kegiatan

pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan untuk mencegah timbulnya kerusakan yang tidak terduga dan menemukan kondisi atau keadaan yang menyebabkan fasilitas produksi menjadi kerusakan pada saat digunakan dalam berproduksi.

Perawatan pencegahan dilakukan untuk menghindari suatu peralatan atau sistem mengalami kerusakan. Pada kenyataannya mungkin tidak diketahui bagaimana cara untuk menghindari adanya kerusakan. Ada beberapa alasan untuk melakukan perawatan pencegahan, antara lain :

- Menghindari terjadinya kerusakan
- Mendeteksi awal terjadinya kerusakan
- Menemukan kerusakan yang tersembunyi
- Mengurangi waktu yang menganggur
- Menaikkan ketersediaan (*availability*) untuk produksi
- Pengurangan penggantian suku cadang, sehingga membantu pengendalian persediaan
- Meningkatkan efisiensi mesin
- Memberikan pengendalian anggaran dan biaya yang diandalkan
- Memberikan informasi untuk pertimbangan penggantian mesin

2.4.5. Modifikasi desain (*design Modification*)

Perawatan dilakukan pada sebagian kecil peralatan sampai pada kondisi yang dapat diterima, dengan melakukan perbaikan pada tahap pembuatan dan penambahan kapasitas. Pada umumnya modifikasi desain dilakukan oleh karena adanya kebutuhan untuk menaikkan atau meningkatkan kapasitas maupun kinerja peralatan.

2.4.6. Perawatan koreksi (*Breakdown or corrective maintenance*)

Perawatan ini dilakukan setelah terjadinya kerusakan, sehingga merupakan bagian dari perawatan yang tidak terencana. *Corrective maintenance* adalah kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan setelah terjadinya suatu kerusakan

pada peralatan sehingga peralatan tidak dapat berfungsi dengan baik. *Breakdown maintenance* merupakan kegiatan yang dilakukan setelah terjadinya kerusakan dan untuk memperbaikinya tentunya kita harus menyiapkan suku cadang dan perlengkapan lainnya untuk pelaksanaan kegiatan tersebut.

Strategi *breakdown or corrective maintenance* sering dikatakan sebagai "run to failure". Banyak dilakukan pada komponen elektronik. Suatu keputusan untuk mengoperasika peralatan sampai terjadi kerusakan karena ditinjau segi ekonomis tidak menguntungkan untuk melakukan suatu perawatan.

2.4.7. Temuan kesalahan (*Fault finding*)

Merupakan tindakan perawatan dalam bentuk inspeksi untuk mengetahui tingkat kerusakan. Misalnya mengecek kondisi ban setelah perjalanan panjang. Kegiatan *fault finding* bertujuan untuk menemukan kerusakan yang tersembunyi dalam menjalankan operasinya. Salah satu cara untuk menemukan kerusakan tersembunyi adalah melakukan pemeriksaan dengan mengoperasikan peralatan dan melihat apakah peralatan tersebut beroperasi (*available*) atau tidak.

2.4.8. Perawatan berbasis kondisi (*Condition-based maintenance*)

Perawatan berbasis kondis dilakukan dengan cara memantau kondisi parameter kunci peralatan yang akan mempengaruhi kondisi peralatan. Strategi perawatan ini dikenal dengan istilah *predictive maintenance.* Perawatan ini merupakan salah satu alternative terbaik yang mampu mendeteksi awal terjadinya kerusakan dan dapat memperkirakan waktu yang menunjukkan suatu peralatan akan mengalami kegagalan dalam menjalankan operasinya.

2.4.9. Perawatan penghentian (*Shutdown maintenance*)

Kegiatan perawatan ini hanya dilakukan sewaktu fasilitas produksi sengaja dihentikan. Jadi *shutdown maintenance* merupakan suatu perencanaan dan penjadwalan pemeliharaan yang memusatkan pada bagaimana mengelola periode penghentian fasilitas produksi. Dalam hal ini berarti dilakukan upaya bagaimana

cara mengkoordinasikan semua sumber daya yang ada berupa tenaga kerja, peralatan, material dan lain-lain, untuk meminimasi waktu down (*downtime*) sehingga biaya yang dikeluarkan diusahakan seminimal mungkin.

2.5. Pengertian OEE

OEE merupakan metode yang digunakan sebagai alat ukur (metrik) dalam penerapan program TPM guna menjaga peralatan pada kondisi ideal dengan menghapuskan *Six Big Losses* peralatan. Selain itu, untuk mengukur kinerja dari suatu sistem produktif. Kemampuan mengidentifikasikan secara jelas akar permasalahan dan faktor penyebabnya sehingga membuat usaha perbaikan menjadi terfokus merupakan faktor utama metode ini diaplikasikan secara menyeluruh oleh banyak perusahaan didunia.

Overall Equipment Effectiveness adalah besarnya efektifitas yang dimiliki oleh peralatan atau mesin. OEE dihitung dengan memperoleh dari availabilitas dari alat-alat perlengkapan, efisiensi kinerja dari proses dan rate dari mutu produk :

OEE (%) = *Availability* (%) X *Performance Rate* (%) X *Quality Rate* (%)

2.5.1. *Availability*

Availability merupakan suatu rasio yang menggambarkan pemanfaatan waktu yang tersedia untuk kegiatan operasi mesin atau peralatan. *Availability rate* dipengaruhi 2 komponen, yaitu *equipment failure* dan *set up and adjustment losses*. Nakajima (1988) menyatakan bahwa *availability* merupakan rasio dari *operation time*, dengan mengeliminasi *downtime* peralatan terhadap *loading time*. Dengan demikian formula yang digunakan untuk mengukur *availability ratio* adalah :

$$Availability = \frac{Loading\ Time\text{-}Downtime}{Loading\ Time} \text{x} 100\%$$

Alur pengukuran suatu rasio ini adalah mengurangkan *available time* dengan *planned downtime*, sehingga diperoleh *loading time*. Selanjutnya *loading time* dikurangkan dengan *availability losses (downtime)* sehingga diperoleh *operating time*. Terakhir dengan membandingkan *operating time* terhadap *loading time* dan memprosentasekannya, maka nilai *availability* diperoleh.

2.5.2. *Performance Efficiency*

Performance efficiency merupakan suatu ratio yang menggambarkan kemampuan dari peralatan dalam menghasilkan barang. Performance efficiency memiliki dua komponen yaitu *idling and minor stoppage* dan *reduce speed*. Rasio ini merupakan hasil dari *operating speed rate* dan *net operating rate*. *Operating speed rate* peralatan mengaca kepada perbedaan antara kecepatan ideal (berdasarkan desain peralatan) dan kecepatan operasi actual. *Net operating rate* mengukur pemeliharaan dari suatu kecepatan selama periode tertentu. Dengan kata lain, ia mengukur apakah suatu operasi tetap stabil dalam periode selama peralatan beroperasi pada kecepatan rendah. Formula pengukuran rasio ini adalah

$$Performance\ Efficiency = \frac{Processed\ Amount\ \text{X}\ Theoretycal\ Cycle\ time}{Operating\ Time} \text{x}100\%$$

Alat pengukuran pada rasio ini adalah dengan menggunakan *operating time* dari *availability* terhadap *performance losses* sehingga didapat *operating time* untuk *performance efficiency*. Selanjutnya mengkalikan *ideal cycle time* dengan jumlah produk yang diproduksi. Terakhir membandingkan hasil tersebut dengan operating time, maka nilai *performance efficiency* diperoleh.

Theoretical cycle time adalah siklus waktu proses yang diharapkan dapat dicapai dalam keaadan optimal atau tidak mengalami hambatan.

Theoretical cycle time pada mesin molding merupakan siklus waktu proses yang dapat dicapai mesin dalam proses produksi dalam keadaan optimal atau mesin tidak mengalami hambatan dalam berproduksi.

2.5.3. *Rate of Quality Product*

Yaitu suatu rasio yang menggambarkan kemampuan peralatan dalam menghasilkan produk yng sesuai dengan standar. *Rate of Quality Product* didukung dua komponen yaitu, *defect in process* dan *reduced yield*. Formula yang digunakan untuk pengukuran nilai *rate of quality product* adalah

$$Rate\ of\ Quality\ Product = \frac{Processed\ Amount\text{-}Defect\ Amount}{Processed\ Amount} \text{x}100\%$$

Dalam pelaksanaan OEE ada beberapa manfaat yang dapat diambil dari OEE antara lain :

- Dapat digunakan untuk menentukan *starting point* dari perusahaan ataupun peralatan atau mesin.
- Dapat digunakan untuk mengidentifikasikan kejadian *bottleneck* di dalam peralatan atau mesin.
- Dapat digunakan untuk mengidentifikasikan kerugian produktifitas (*true Productivity losses*)
- Dapat digunakan untuk menentukan prioritas dalam usaha untuk meningkatkan OEE dan peningkatan produktivitas.

2.6. *Six Big Losses*

Menurut Nakajima(1988) terdapat 6 kerugian besar yang menyebabkan rendahnya kinerja dari peralatan. Keenam kerugian tersebut, atau sering disebut dengan *Six Big Losses* yang terdiri dari :

- *Equipment failure*, (kerugian akibat kerusakan peralatan)
- *Setup and adjusment losses*, (kerugian penyetelan dan penyesuaian)
- *Idle and minor stoppage*, (kerugian karena menganggur dan penghentian mesin)
- *Reduced speed*, (kerugian karena kecepatan operasi rendah)
- *Defect in process*, (kerugian cacat produk dalam proses)

- *Reduced Yield*, (kerugian akibat hasil rendah)

Six Big Losses dihitung untuk mengetahui OEE dari suatu peralatan agar dapat diambil langkah-langkah untuk perbaikan mesin tersebut secara efektif. Secara garis besar keenam kerugian dalam identifikasi tersebut dapat dipetakan kedalam beberapa klasifikasi waktu permesinan antara lain waktu operasi yang bernilai tambah (*valuable operating time*), waktu operasi bersih (*net operating time*), waktu operasi (*operating time*), waktu proses(*loading time*).

Terdapat enam belas kerugian utama yang mengganggu performansi dalam manufaktur yang mempengaruhi kinerja industri, diantaranya yaitu :

Tujuh kehilangan utama yang menggangu efisiensi mesin secara keseluruhan

1. *Breakdown*/*failure loss* merupakan kerugian berhubungan dengan kegagalan. Jenis kegagalan meliputi fungsi stoping sporadis kegagalan dan fungsi mengurangi kegagalan dimana fungsi peralatan turun di bawah tingkat normal
2. *Setup and adjusment loss* merupakan kerugian kemacetan terjadi ketika perubahan sistem kerja. Kerugian ini disebabkan adanya perubahan pada saat operasi. Penggantian peralatan memerlukan waktu shutdown sehingga alat dapat ditukarkan.
3. *Idling and minor stoppages loss* merupakan kerugian yang terjadi ketika menunggu atau mendiamkan sehubungan dengan adanya pembersihan dan penataan ulang.
4. *Reduced Speed Loss* merupakan kerugian berhubungan dengan kecepatan operasi aktual yang rendah, di bawah kecepatan operasi ideal.
5. *Defect and rework loss* merupakan kerugian waktu sehubungan dengan cacat dan pngerjaaan ulang, kehilangan keuangan sehubungan dengan menurunnya kualitas produk, dan kehilangan waktu yang diperlukan untuk memperbaiki produk cacat menjadi sempurna.
6. *Start-up loss* merupakan ketika memulai produksi, kerugian yang timbul dari mesin dimulai, dijalankan hingga kondisi proses produksi stabil.

7. *Tool changeover loss* merupakan kerugian kemacetan disebabkan oleh penggantian peralatan kerja.

Kehilangan yang menggangu waktu pemuatan mesin

8. *Planned shutdown loss* merupakan kerugian yang timbul dari kemacetan mesin yang terencana pada taraf perencanaan produksi agar melaksanakan inspeksi berkala dan menurut ketentuan.

Lima kehilangan utama yang menggangu efisiensi pekerja

9. *Distribution or logistic loss* merupakan kerugian terjadi sehubungan dengan ketidakmampuan untuk *automate*.
10. *Line organization loss* merupakan kerugian waktu menunggu yang melibatkan multi proses dan multi operator dan kehilangan lini keseimbangan pada pekerjaan pengangkut.
11. *Measurement and adjusment loss* mrupakan kerugian dari pengukuran kerja berulang dan penyesuaian dalam urutan untuk mencegah kejadian cacat produk.
12. *Management loss* merupakan kerugian menunggu yang disebabkan oleh manajemen, seperti menunggu bahan baku, menunggu mesin, menunggu untuk mendapat arahan, menunggu untuk reparasi dari gangguan, dsb.
13. *Motion related loss* merupakan kerugian sehubungan dengan pelanggaran dari ruang gerak, kehilangan yang terjadi sebagai hasil dari perbedaan keterampilan dan kehilangan berjalan yang disebabkan oleh tata letak yang tidak efisien.

Tiga kehilangan utama yang menggangu efisiensi penggunaan sumber daya produksi

14. *Yield loss* merupakan kerugian material sehubungan dengan perbedaan pada input berat bahan dan berat dari produk berkualitas.

15. *Consumable* (*jig, tool, die*) *loss* merupakan kerugian keuangan yang terjadi pada produksi atau reparasi cetakan, jig dan peralatan sehubungan dengan masa pakai di luar usia produk atau kerusakan.
16. *Energy loss* merupakan kerugian akibat tidak ada efektifnya pemanfaatan tidak daya input (daya listrik, gas, bahan bakar minyak, dsb) dalam proses.

2.6.1. Proses identifikasi *Six Big Losses*

Sebelum mengukur nilai OEE dan ketiga rasionya, terlebih dahulu harus dipahami jenis-jenis kerugian peralatan yang ada. Menurut Nakajima (1988) berdasarkan buku system perawatan terpadu karya Nachnul ansori dan M. Imron Mustajib, terdapat 6 kerugian peralatan yang menyebabkan rendahnya kinerja dari peralatan. Keenam kerugian tersebut, disebut dengan *six big losses* yang terdiri dari :

2.6.1.1. *Equipment Failure (Breakdown Losses)*

Sporadic breakdowns-sudden, dramatic, or unexpected equipment failures- are usually obvious and easy to correct. Frequent or chronic minor breakdowns, on the other hand, are often ignored or neglected after repeated unsuccesfull attempts to cure them.because sporadic breakdowns account for large percentage of total losses,factory personnel invest a great deal of time and effort searching for ways to avoid them.

Kegagalan mesin melakukan proses (*equipment failure*) atau kerusakan (*breakdown*) yang tiba-tiba dan tidak diharapkan terjadi adalah penyebab kerugian yang terlihat jelas, karena kerusakan tersebut akan mengakibatkan mesin tidak menghasilkan output.

Besarnya presentase efektifitas mesin yang hilang akibat faktor *breakdowns loss* dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Breakdowns\ Loss = \frac{Total\ Breakdown\ Time}{Loading\ Time} \text{x} 100\%$$

2.6.1.2. *Setup and Adjusment Losses*

Losses during setup and adjustment result from downtime and defective that occur when production of one item ends and the equipment is adjusted to meet the requirements of another item. Many companies are now working to achive single minute setups (under 10 minutes).

Kerusakan pada mesin maupun pemeliharaan mesin secara keseluruhan akan mengakibatkan mesin tersebut harus dihentikan terlebih dahulu. Sebelum mesin difungsikan kembali akan dilakukan penyesuain terhadap fungsi mesin tersebut yang dinamakan dengan waktu *setup and adjusment* mesin. Dalam perhitungan *setup and adjusment loss* dipergunakan data waktu setup mesin yang mengalami kerusakan dan pemeliharaan mesin secara keseluruhan di mesin molding.

Untuk mengetahui besarnya presentase *downtime loss* yang diakibatkan oleh waktu *setup and adjusment* tersebut digunakan rumus sebagai berikut

$$Setup\ or\ Adjusment\ Loss = \frac{Total\ Setup\ or\ Adjusment\ time}{Loading\ Time} \text{x} 100\%$$

2.6.1.3. *Idling and Minor Stoppages Losses*

A minor stoopages occurs when production is interrupted by a temporary malfunction or when a machine is idling. For example, some workpieces might block the top of chute, causing the equipment to idle; at other time sensors, alerted by the production of defective products, shutdown the equipment. These types of temporary stoppages clearly differ from breakdown. Normal production is restored by simply removing the obstructing work pieces and resetting the equipment.

Idling and Minor stoppages terjadi jika mesin berhenti secara berulang-ulang atau mesin beroperasi tanpa menghasilkan produk. Jika *idling and minor stoppages* sering terjadi maka dapat mengurangi efektivitas mesin. Untuk mengetahui besarnya faktor efektivitas yang hilang karena faktor *idling and minor stoppages* digunakan rumus sebagai berikut :

$$Idling\ and\ minor\ Stoppages = \frac{Nonproductive\ time}{Loading\ time} \text{x}100\%$$

$$Nonproductive\ time = Operating\ time - Actual\ Production\ time$$

2.6.1.4. *Reduced Speed Losses*

Reduced speed losses refer to difference between equipment design speed and actual operating speed. Speed losses are typically overlooked in equipment operation, although they constitute a large obstacle to equipment effectiveness and should bestudied carefully. The goal must be to eliminate the gap between design speed and actual speed.

Reduced speed Losses adalah selisih antara waktu kecepatan produksi aktual dengan kecepatan produksi mesin yang ideal. Untuk mengetahui besarnya persentase faktor *reduced speed* yang hilang, maka digunakan rumus sebagai berikut :

$$Reduced\ speed\ losses = \frac{Actual\ production\ time - Ideal\ production\ time}{Loading\ time} \text{x}100\%$$

$$Reduced\ speed\ losses = \frac{Actual\ production\ time - (Theoretycal\ cycle\ time\ x\ Total\ product\ process)}{Loading\ time} \text{x}100\%$$

2.6.1.5. *Quality defect and Rework*

Quality defects in process and rework are losses in quality caused by malfunctioning production equipment. In general, sporadic defects are easily and promptly corrected by returning equipment conditions to normal. These defect include sudden increases in the quality of defect, or the dramatic of phenomena. The causes of chronic defects, on the other hand, are difficult to identify. Ad hoc measures to restore the status quo rarely solve the problem, and the conditions underlying the defects may be ignored or neglected. Defects requiring rework should also be counted as chronic losses.

Quality defect and Rework adalah produk yang tidak memenuhi spesifikasi kualitas yang telah ditentukan walaupun masih dapat diperbaiki ataupun

dikerjakan ulang. Untuk mengetahui persentase faktor *rework* yang mempengaruhi efektivitas penggunaan mesin, digunakan rumus sebagai berikut :

$$Rework = \frac{Ideal\ cycle\ time \text{ x } Rework}{Loading\ time} \text{x} 100$$

2.6.1.6. *Yield or Scrap Loss* (*Startup Losses*)

Startup losses are yield losses that occur during the early stage of production-from machine startup to stabilization. The volume of losses varies with the degree of stability of processing conditions; maintenance level equipment, jigs, and dies; operators technical skills; and so on. In practice, the volume is surprisingly high. Such losses are latent, and the possibility of eliminating them is often obscured by uncritical acceptance of their inevitability.

Yield or scrap loss yaitu kerugian yang timbul selama proses produksi belum mencapai keadaan produksi yang stabil pada saat proses produksi mulai dilakukan sampai tercapainya keadaan proses yang stabil, sehingga produk yang dihasilkan pada awal proses sampai keadaan proses stabil dicapai tidak memenuhi spesifikasi kualitas yang diharapkan. Untuk mengetahui persentase faktor *yield or scrap loss* yang mempengaruhi efektivitas penggunaan mesin, digunakan rumus sebagai berikut :

$$Yield/Scrap\ loss = \frac{Ideal\ cycle\ time\ x\ Scrap}{Loading\ time} \text{x} 100\%$$

Keenam kerugian peralatan tersebut merupakan tipe kerugian peralatan secara umum.

Agar pengukuran nilai OEE ini menjadi lebih akurat, kerugian peralatan tersebut akan diuraikan lebih spesifik terlebih dahulu. Berdasarkan observasi pada penelitian ini, diperoleh beberapa kerugian peralatan spesifik yang merupakan penjabaran dari *six big losses*. Berikut penjabaran tersebut yang akan digambarkan sebagai alur dari pengukuran nilai OEE.

- *Planned Downtime*, waktu pemberhentian mesin yang telah ditetapkan oleh perusahaan, meliputi meeting, istrahat, solat.
- Penyetelan *sparepart*, waktu yang terbuang akibat proses *setup* mesin.
- *Waiting time*, lama waktu terpakai untuk menunggu peralatan beroperasi yang terdiri dari meterial, operator, mesin dan lain-lain.
- *Trouble mesin*, lama waktu terpakai akibat terjadi gangguan atau kerusakan pada peralatan produksi.
- *Cleaning*, lama waktu terpakai akibat tindakan pembersihan kotoran atau sisa hasil proses (scrap).
- *Quality check*, lama waktu terpakai untuk memahami kondisi awal operasi peralatan maupun material dari kualitas produk.

Pemahaman terhadap jenis kerugian peralatan diperlukan agar hasil yang diperoleh secara akurat dan menggambarkan situasi yang sesungguhnya, serta tidak terdapat hal penting yang terlewatkan. Setelah kerugian peralatan diidentifikasi dan diklasifikasikan menurut rasionya, maka langkah selanjutnya adalah melakukan pengumpulan data yang diperlukan untuk pengukuran nilai OEE.

Data yang diperlukan pada penelitian berkaitan dengan kerugian peralatan dan lainnya adalah sebagai berikut :

- Jumlah jam dan hari kerja (*available time*)
- Lama waktu berhenti produksi yang ditetapkan oleh perusahaan meliputi meeting, istrahat dan sholat (*planned downtime*)
- Lama waktu *downtime* mesin
- Lama waktu peralatan menganggur dan gangguan kecil *(idle and minor stoppages*) meliputi *scrab handling*, dan waktu menunggu lainnya
- Waktu siklus per periode
- Jumlah cacat produksi per periode
- Historis perawatan mesin

2.1. Tabel tujuan atau target pencapaian peningkatan kerugian (*losses*) menurut Nakajima (1982)

NO	tipe Kerugian	Target	Penjelasan
1	*Breakdown losses*	0	mengurangi sampai target nol (0) untuk semua peralatan
2	*Setup and adjusment losses*	Minimal	mengurangi setup sampai target kurang dari 10 menit
3	Speed losses	0	menjaga kecepatan aktual operasi sebagaimana kecepatan pada desain
4	*Idling and minor stoppages losses*	0	mengurangi sampai target nol (0) untuk semua peralatan
5	*Quality defect and rework losses*	0	secara mutlak target pada *zero defect*
6	*start up (yield) losses*	Minimal	-

2.6.2. Kerugian Kronis (*Chronic Losses*) dan Cacat Tersembunyi (*Hidden Defect*)

Kerugian kronis disebabkan oleh cacat tersembunyi pada permesinan, peralatan dan metode. Jika hal ini terjadi maka harus dilakukan penghilangan penyebab kronis secara menyeluruh. Pada kenyataannya kerugian kronis sangat sulit untuk dideteksi.

Kondisi kronis biasanya merepresentasikan fenomena yang berulang dalam suatu tentang distribusi tertentu, hal ini disebut juga sebagai kondisi sporadis (sporadic). Periode sporadic akan muncul ketika berada pada fenomena menaiknya rate cacat, hal ini terjadi karena adanya perubahan kondisi fasilitas misalnya dari sisi peralatan, peralatan pendukung (*jigs dan tools*), metode kerja dan kondisi operasi yang tidak stabil.

Seringkali kerugian kronis ditunjukkan dengan melakukan perbandingan antara kondisi aktual dengan kondisi teoritis ataupun kondis optimalnya. Misalnya sebuah peralatan didesain dengan kemampuan 250 spm (*strokes per minute*), jika kemampuannya saat ini adalah 200 spm, berarti telah terjadi kerugian sebesar 50

spm. Kerugian tersebut akan tidak mampu terdeteksi bila kapasitas standarnya tidak dispesifikasikan dengan jelas.

2.2. Tabel karakteristik kerugian kronis

NO	Kerugian	Terdeteksi	Tersembunyi
1	*Sporadic breakdown*	x	
	Chronic breakdown		x
2	*Setup and adjusment*	x	
3	*Idling and minor stoppages losses*		x
4	*Speed*		x
5	*Sporadic quality defect*	x	
	Chronic quality defect		x

2.7. *Fault Tree Analysis*

Fault tree analysis adalah salah satu teknik yang dapat diandalkan, dimana kegagalan yang tidak diinginkan, diatur dengan cara menarik kesimpulan dan dipaparkan dengan gambar. FTA adalah salah satu diagram satu arah dan menghubungkan informasi yang dikembangkan dalam analisa cara kegagalan dan akibatnya (*failure mode and effect analysis*, FMEA) (Ebeling, 1997).

Hasil dari pengaturan ini merupakan satu struktur yang mirip pohon, yang disajikan dalam bentuk grafis dari satu logika Boolean yang dihubungkan dengan kegagalan sistem luar biasa dinamakan “kejadian TOP”, dan dapat berkembang ke kegagalan dasar yang dinamakan “kejadian mula”.

Sebagai contoh, kejadian TOP dapat menjadi kejadian dari reaktor secara sistem untuk bekerja, sewaktu terjadi penyimpangan dengan kejadian mula sebagai kegagalan dari masing-masing komponen scara sistem.

Pada mulanya, dengan kejjadian TOP dan menuju ke kejadian mula, konstruksi “*fault tree*” adalah salah satu yang dapat digunakan untuk menarik kesimpulan.
Nilai dari “*fault tree*” adalah :

- Mengarahkan analisa guna menyelidiki dengan seksama kegagalan-kegagalan.
- Menunjukkan aspek dari sistem yang penting buat kegagalan yang diperhatikan.
- Menyediakan bantuan grafis guna memberi gambaran pada mereka di dalam managemen sistem yang dialihkan dari sistem perubahan desain.
- Menyediakan pilihan guna sistem analisa yang terpercaya kualitatif dan kuantitatif.
- Menyediakan satu gambaran ke dalam sifat sistem.

2.7.1. Fungsi FTA (*fault Tree Analysis*)

Fault tree analysis ialah diagram yang digunakan untuk mendeteksi adanya gejala supaya mengetahui akar penyebab suatu masalah, dimulai dari kejadian puncak TOP (puncak).

2.7.2. Langkah-langkah Utama FTA

Langkah-langkah utama adalah sebagai berikut :

1. Definisi dari sistem, TOP *event* (kecelakaan potensial), dan batasan masalah.
2. Pembuatan FTA (*fault tree analysis*).
3. Identifikasi kemungkinan.
4. Analisis Qualitatif.
5. Analisis Quantitatif.
6. Pelaporan (*report*).

2.7.3. Simbol FTA (*Fault Tree Analysis*)

Ada dua macam bangunan balok yaitu : simbol pintu dan simbol kejadian.

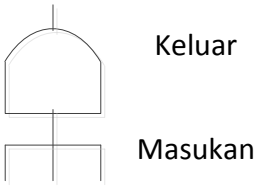
- Simbol Pintu (*gate symbol*)

  Simbol pintu menghubungkan kejadian-kejadian sesuai dengan hubungannya yang menyangkut sebab.

Satu pintu dapat mempunyai satu atau lebih kejadian masuk tetapi hanya ada satu kejadian ke luar. Simbol pintu tersebut yang menjadi perhatian, dan keterangan singkat dari arti adalah sebagai berikut:

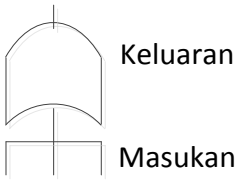
- Pintu “DAN”

  Pintu “DAN” adalah operasi antar seksi dari set-set; yaitu satu kejadian ke luar terjadi, jika dan hanya jika semua masukan terjadi.



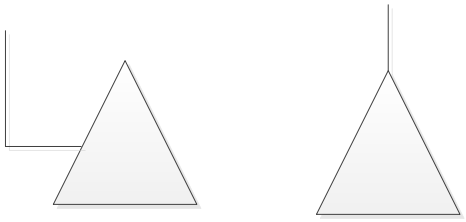
- Pintu “ATAU”

  Pintu “ATAU” adalah kesatuan operasi dari set-set; yaitu kejadian ke luar terjadi, jika satu atau lebih dari masukan terjadi.



- Pintu “TRANSFER’

  Simbol pintu “TRANSFER” menyediakan satu alat guna mencegah pengulangan bagian dari “*fault tree*”. Pintu “*transfer out*” mewakili semua cabang yang mengukutinya, dihgambarkan dengan simbol, katakanlah1 dan menunjukkan bahwa cabang telah diulangi di tempat lain. Pintu, “*transfer-in*” mewakili cabangn(dalam hal ini 1) yang telah digambarkan di tempat lain, dan daripada menggambar lagi adalah cukup dengan masukan pada titik tersebut.



Transfer Keluaran Transfer Masukan

- Simbol Kejadian (*event symbol*)
  - "Lingkaran"

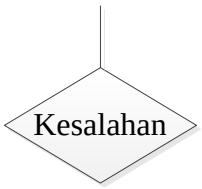
    Lingkaran mewakili satu kejadian kesalahan dasar yang tidak memerlukan pemeriksaan lebih lanjut, karena kemungkinan kejadian semacam itu berasal dari data empiris atau analisa fisik satu kegagalan.

  - "Belah ketupat"

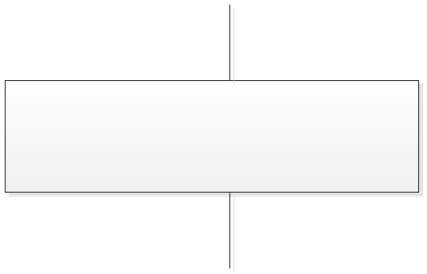
    Belah ketupat mewakili kejadian kesalahan yaitu yang diduga mendasar dalam satu "*fault tree*"

    Kejadian ini dapat dibagi lebih lanjut untuk menunjukkan bagaimana ia diakibatkan oleh kegagalan dasar, tetapi tidak dikembangkan, baik karena kurangnya makna dalam kesalahan semacam itu atau karena kurangnya detail yang cukup untuk mengembangkannya.

  - "segi empat panjang"

    Segi empat panjang mewakili suatu kejadian sebagai hasil dari kombinasi dari macam kejadian yang duraikan di atas melalui masukan dari pintu yang sesuai.

Langkah akhir adalah menentukan tiap pernyataan kata dalam pohon batas frekuensi (misal : kejadian/tahun) dan di mana terkait kesamaan keadaan dalam hal ini lamanya (misal : jumlah jam rata-rata tiap kejadian). Bila terjadi interaksi yang sangat berpengaruh antara operator dengan fasilitas peralatan, maka diperlukan kemungkinan rata-rata mengenai tindakan yang gagal dari operator tersebut.

Jika data (angka) dari tiap kejadian telah digabungkan, maka angka diolah dengan mulai memberi masukan pertama pada tiap cabang dari pohon dan diteruskan ke masukan akhir. Kejadian masukan melalui satu pintu "ATAU" hanya dijumlah.

2.7.4. Nilai dari FTA

- Mengarahkan analisa guna menyelidiki dengan seksama kegagalan-kegagalan.
- Menunjukkan aspek dari sistem yang penting buat kegagalan yang diperhatikan.
- Menyediakan bantuan grafis guna memberi gambaran pada sistem managemen yang dialihkan dari sistem perubahan desain.
- Menyediakan pilihan guna sistem analisa yang terpercaya secara kualitatif dan kuantitatif.
- Menyediakan satu gambaran ke dalam sifat sistem.

2.7.5. Analisa Pohon Kesalahan (*Fault Tree Analysis*)

Sebuah pohon kesalahan adalah sebuah tool grafis yang melakukan pencatatan semua mode kesalahan dari sebuah sistem yang rumit menjadi kombinasi logika, hubungan sederhana gerbang AND dan OR. Kesalahan-kesalahan yang dimaksud disini adalah kesalahan komponen. Data yang baik dapat dipakai sebagai dasar kesalahan (kegagalan) dari seluruh komponen-komponen kritis, sedangkan analisis pohon kesalahan (*Fault Tree Analysis*/FTA) dapat membangkitkan kesalahan-kesalahan dasar yang telah diduga sebelumnya pada keseluruhan sistem.

Teknik FTA pada teknik industri digunakan dengan cara membuat sebuah pohon yang menggambarkan hubungan sebab akibat antara vektor penyerang dengan kesalahan sistem. Aplikasi dari tindak balas diharapkan akan memangkas cabang-cabang dari pohon kesalahan sehingga seluruh akibat dapat dibandingkan. FTA didasarkan pada asumsi kembar, kegagalan komponen secara random sesuai dengan hasil statistik dan pada level terendah pohon kesalahan, kesalahan komponen tidak tergantung dengan yang lainnya.

2.7.6. Solusi FTA

Solusi FTA bisa dikerjakan dengan dua cara yaitu dengan :

- Program komputer (pendekatan probabilistik menggunakan simulasi numerik). Hasil yang diharapkan dari program ini adalah menentukan minimal cut-set (analisis kualitatif), dan frekuensi kejadian puncak (analisis kuantitatif).
- Perhitungan sederhana menggunakan diagram FTA dengan cara manual, sedangkan untuk sistem yang besar dan kompleks membutuhkan tenaga dan waktu yang banyak.