

BAB II

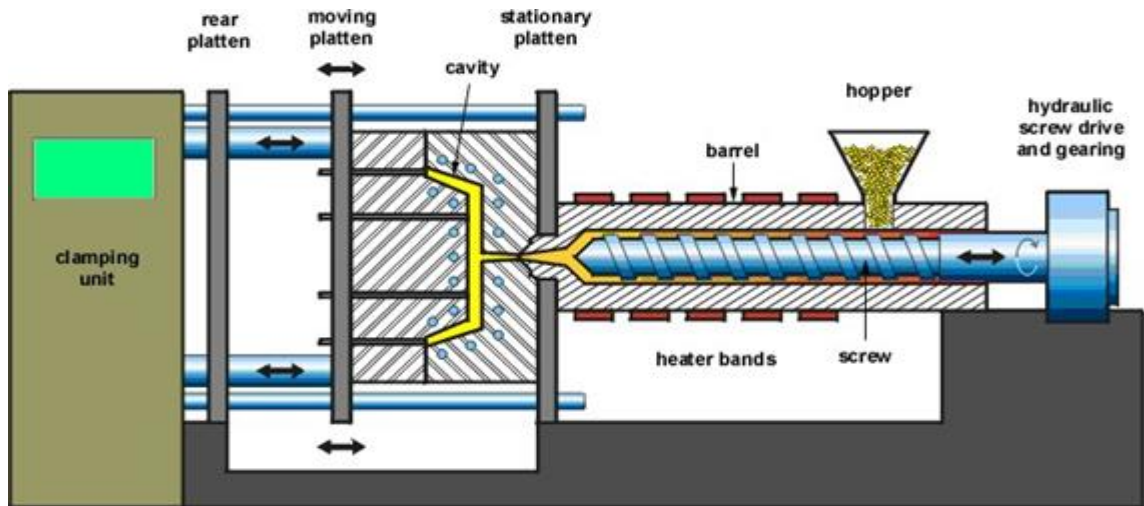
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mesin *Injection Molding*

2.1.1 Proses *Injection Molding*

Penggunaan barang-barang yang terbuat dari plastik dari waktu ke waktu menunjukkan perkembangan yang sangat pesat, tersebar luas hampir disemua sektor kehidupan manusia seperti penggunaan untuk peralatan dan perlengkapan rumah tangga termasuk untuk sandang dan perlengkapan kosmetik, peralatan dan perlengkapan kantor, sarana dibidang pendidikan, bangunan, transformasi, peralatan listrik dan elektronik, industri otomotif, pesawat , pertanian dan perikanan dan banyak lagi penggunaan lainnya. Proses produksinya merupakan suatu proses dengan menggunakan mesin *Injection Molding*. Seperti halnya pada PT. Kencana Agung Sukses yang dalam proses produksinya menggunakan mesin *Injection Molding* untuk menghasilkan *part-part* yang berbahan plastik yang akan dirakit menjadi produk elektronik yang siap dijual.

Injection Molding merupakan salah satu teknik pada industri manufaktur untuk mencetak material dari berbahan *thermoplastik*. *Injection Molding* merupakan metode proses produksi yang cenderung digunakan dalam menghasilkan atau memproses komponen-komponen yang kecil dan berbentuk rumit, dimana biayanya lebih murah jika dibandingkan dengan menggunakan metode-metode lain yang biasa digunakan. Proses ini terdiri dari bahan termoplastik yang dihaluskan kemudian dipanaskan sampai mencair, kemudian lelehan plastik disuntikan ke dalam cetakan baja, kemudian plastik tersebut akan mendingin dan memadat. Proses ini memerlukan kecepatan tinggi dan otomatis yang dapat memproduksi plastik dengan geometri yang kompleks, yang dimulai dengan memasukan serbuk plastik ke dalam *hopper*, kemudian menuju *barrel* yang didalamnya terdapat *screw* yang berfungsi untuk mengalirkan material leleh yang telah dipanasi menuju *nozzle*. Material ini akan terus didorong melalui *nozzle* dengan *injector* melewati *sprue* ke dalam rongga cetak (*cavity*).



Gambar 2.1 Bagian Mesin *Injection Molding*

(Sumber: Abdurrokhman, 2012)

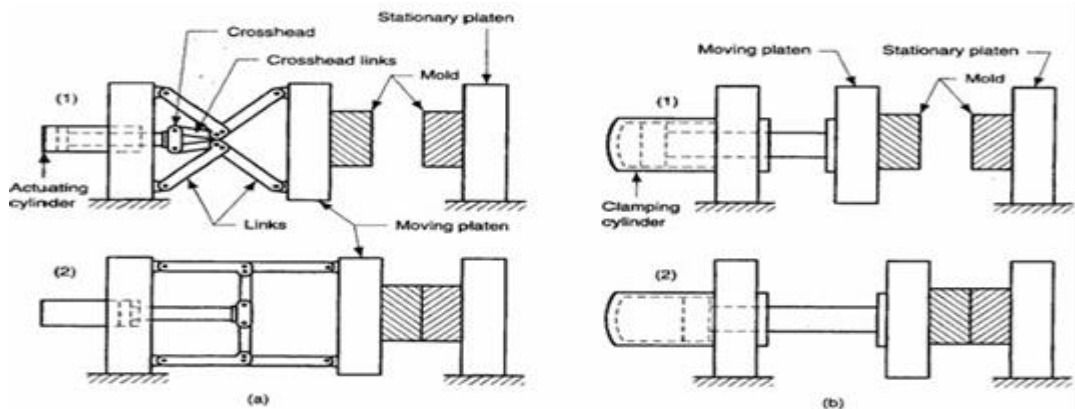
2.1.2 Bagian-bagian Utama Mesin *Injection Molding*

Mesin *Injection Molding* terdiri dari dua bagian besar, yaitu unit injeksi dan *unit clamping*. Setiap tipe mesin injeksi yang berbeda akan mempunyai perbedaan dalam unit injeksi dan unit clampingnya

1. *Injection unit*: merupakan tempat mencairkan plastik dan proses injeksi plastik ke dalam *mold*. Terdiri dari beberapa bagian yaitu :
 - a. *Feed hopper*: merupakan wadah untuk menampung plastik yang akan dipanaskan dan dicairkan untuk dialirkan ke *screw*. Dalam *hopper*, bahan akan dipanaskan oleh aliran udara dari *blower* yang dipanaskan oleh elemen panas (*heater*). Hal ini dilakukan untuk menghilangkan air yang terdapat dalam bahan baku karena adanya air akan menyebabkan hasil dari pembuatan plastik tidak sempurna.
 - b. *Injection ram*: merupakan bagian yang akan memberikan tekanan pada plastik cair agar masuk ke dalam rongga *mold*.
 - c. *Barrel*: merupakan bagian utama yang mengalirkan plastik cair dari *hopper* melalui *screw* ke *mold*. Pada *barrel* terdapat dua *heater* untuk menjaga panas resin pada temperatur yang sesuai untuk proses injeksi.
 - d. *Injection screw*: merupakan bagian yang mengatur aliran resin dari *hopper* ke *mold*. Putaran *screw* akan menyebabkan bahan akan terkumpul di ujung

screw sebelum diinjeksikan. Kemudian *screw* akan mundur selama beberapa saat, kemudian akan maju mendorong bahan yang telah dicairkan di dalam *barrel* menuju *nozzle*.

- e. *Injection cylinder*: merupakan bagian yang dihubungkan ke sebuah motor hidraulik untuk menyediakan tenaga untuk menginjeksikan resin tergantung dari karakteristik resin dan tipe produk pada kecepatan dan tekanan yang diperlukan.
2. *Clamping Unit*: merupakan tempat *mold* diletakkan, membuka dan menutup *mold* secara otomatis, dan mengeluarkan *part* yang sudah selesai terbentuk. Terdiri dari :
 - a. *Injection mold*: merupakan cetakan dari produk yang akan dibuat. Terdapat dua tipe *injection mold* yaitu *cold runner* dan *hot runner*.
 - b. *Injections platens*: merupakan plat baja pada mesin moulding untuk dimana mould diletakkan. Umumnya digunakan dua plat, satu plat yang diam (*stationary*) dan satunya lagi plat yang bergerak (*moveable*). Menggunakan hidrolik untuk membuka dan menutup *mold*.
 - c. *Clamping cylinder*: merupakan bagian yang menyediakan tenaga untuk *clamping* dengan bantuan tenaga pneumatik dan hidrolik.
 - d. *Tie bar*: menopang kekuatan *clamping* dan terdapat 4 *tie* diantara *fixing platen* dan *support platen*.



Gambar 2.2 Tipe *Clamping Unit* (a) *Toggle Clamp*; (b) *Hidrolik Clamp*

(Sumber: Abdurrokhman, 2012)

Selain bagian di atas, pada mesin injeksi juga terdapat panel-panel untuk mengatur waktu dan temperatur yang diinginkan.

- a. *Injection time*: mengatur waktu yang dibutuhkan untuk menginjeksikan bahan yang telah dicairkan ke dalam mold.
- b. *Cooling time*: mengatur lamanya waktu pendinginan produk setelah proses injeksi berlangsung. Pendinginan ini terjadi di dalam *mold*. Pendingin yang digunakan adalah air
- c. *Interval time*: mengatur lamanya waktu mulai produk didorong oleh *ejector* sampai *clamp* berada dalam posisi siap kerja.
- d. *Clamp time*: mengatur lamanya proses *clamping*, yaitu waktu cetakan yang bergerak menekan cetakan diam.
- e. *Temperature control*: merupakan alat yang digunakan untuk mengatur temperatur elemen pemanas. Temperatur yang digunakan akan berbeda untuk setiap bahan yang berbeda. Pada mesin Borsche 260 Ton, digunakan empat *temperatur control*, dimana tiga *temperature control* yang mengatur suhu pada *barrel* dan satu lagi untuk mengatur suhu pada *nozzle*.

2.1.3 Siklus Proses *Injection Molding*

Unit untuk melakukan kontrol kerja dari *Injection Molding*, terdiri dari Motor untuk menggerakkan *screw*, *piston injeksi* menggunakan *Hydraulic system* (sistem pompa) untuk mengalirkan fluida dan menginjeksi resin cair ke *molding*. Menurut Malloy (1994) dalam Abdurrokhman (2012) siklus untuk termoplastik terdiri dari beberapa tahapan langkah kerja pada proses *injection molding* antara lain:

1. *Mold Filling*, setelah *mold* menutup, aliran plastik leleh dari *injection* unit dari mesin masuk ke *mold* yang relatif lebih dingin melalui *sprue*, *runner*, *gate*, dan masuk ke *cavity*.
2. *Holding*, plastik leleh ditahan di dalam *mold* di bawah tekanan tertentu untuk mengkompensasi *shrinkage* yang terjadi selama pendinginan berlangsung. Tekanan holding biasanya diberikan sampai *gate* telah membeku. Setelah plastik di daerah *gate* membeku, produk dapat langsung dikeluarkan dari *cavity*.

3. *Cooling*, plastik leleh itu kemudian mengalami pendinginan dan membeku.
4. *Part Ejection, mold* membuka dan produk yang telah membeku tadi dikeluarkan dari *cavity* menggunakan sistem *ejector* mekanis.

Dari sini didapat siklus proses *Injection Molding* dan memerlukan suatu waktu tertentu untuk dapat melakukan satu kali proses produksi yang biasa disebut *cycle time*. *Cycle time* biasanya meliputi beberapa proses: *mold close, inject, holding, cooling, charging* dan *eject*.

2.2 Perawatan (*Maintenance*)

2.2.1 Pengertian Perawatan (*Maintenance*)

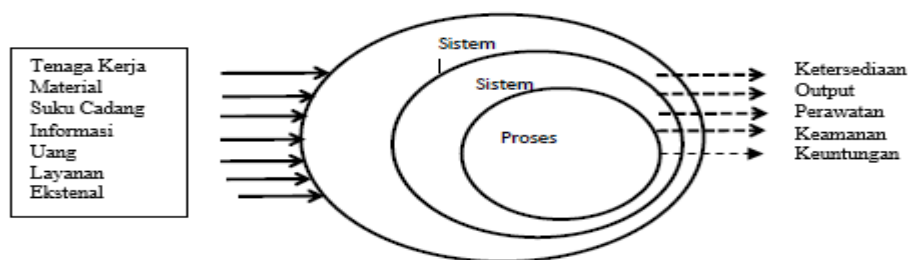
Ebeling (1997) dalam Ansori dan Mustajib (2013) mendefinisikan perawatan sebagai bentuk kegiatan yang dilakukan untuk mencapai hasil yang mampu mengembalikan item atau mempertahankannya pada kondisi yang selalu dapat berfungsi. Perawatan juga merupakan kegiatan pendukung yang menjamin kelangsungan mesin dan peralatan sehingga pada saat dibutuhkan akan 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.

Ansori dan Mustajib (2013) memodelkan proses perawatan sebagai proses transformasi ringkas dalam sistem perusahaan yang digambarkan dalam model black box input-output. Proses pemeliharaan yang dilakukan akan mempengaruhi tingkat ketersediaan (*availability*) fasilitas produksi, laju produksi, kualitas produksi akhir (*end product*), ongkos produksi, dan keselamatan operasi. Faktor-faktor ini selanjutnya akan mempengaruhi tingkat keuntungan (*profitability*) perusahaan. Proses perawatan yang dilakukan tidak saja membantu kelancaran produksi sehingga produk yang dihasilkan tepat waktu diserahkan kepada pelanggan, tetapi juga membantu fasilitas dan peralatan tetap dalam kondisi efektif dan efisien dimana sarannya adalah mewujudkan nol kerusakan (*zero breakdown*) pada mesin-mesin yang beroperasi.

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 fasilitas industri. Masalah perawatan mempunyai kaitan erat dengan tindakan pencegahan (*preventive*) dan perbaikan (*corrective*). Tindakan pada problematika perawatan tersebut dapat berupa:

- a. Pemeriksaan (*inspection*), yaitu tindakan yang ditujukan untuk sistem/mesin agar dapat mengetahui apakah sistem berada pada kondisi yang diinginkan.
- b. *Service*, yaitu tindakan yang bertujuan untuk menjagasuatu sistem/mesin yang biasanya telah diatur dalam buku petunjuk pemakaian mesin.
- c. Penggantian komponen (*replacement*), yaitu tindakan penggantian komponen-komponen yang rusak/tidak memenuhi kondisi yang diinginkan. Tindakan ini mungkin dilakukan secara mendadak atau dengan perencanaan pencegahan terlebih dahulu.
- d. Perbaikan (*repairment*), yaitu tindakan perbaikan yang dilakukan pada saat terjadi kerusakan kecil.
- e. *Overhaul*, tindakan besar-besaran yang biasanya dilakukan pada ahir periode tertentu.

Kompleksnya masalah terkait perawatan, seringkali perawatan didekati dengan model matematis yang mempresentasikan permasalahan tersebut. Dengan pendekatan ini dapat diharapkan pengambilan keputusan dalam permasalahan perawatan akan dapat mengurangi proporsi pertimbangan yang subjektif.



Gambar 2.3 Model Input-output untuk proses perawatan dalam sistem produksi dan sitem perusahaan

(Sumber : Ansori dan Mustajib, 2013)

2.2.2 Tujuan Perawatan (*Maintenance*)

Proses perawatan secara umum bertujuan untuk memfokuskan dalam langkah pencegahan untuk mengurangi atau bahkan menghindari kerusakan dari peralatan yang memastikan tingkat keandalan dan kesiapan serta meminimalkan biaya perawatan. Sehingga perawatan dapat membantu tercapainya tujuan tersebut dengan adanya peningkatan profit dan kepuasan pelanggan, hal tersebut dilakukan dengan pendekatan nilai fungsi (*function*) dari fasilitas/peralatan produksi yang ada (Duffuaa et al, 1999) dalam Ansori dan Mustajib (2013) dengan cara:

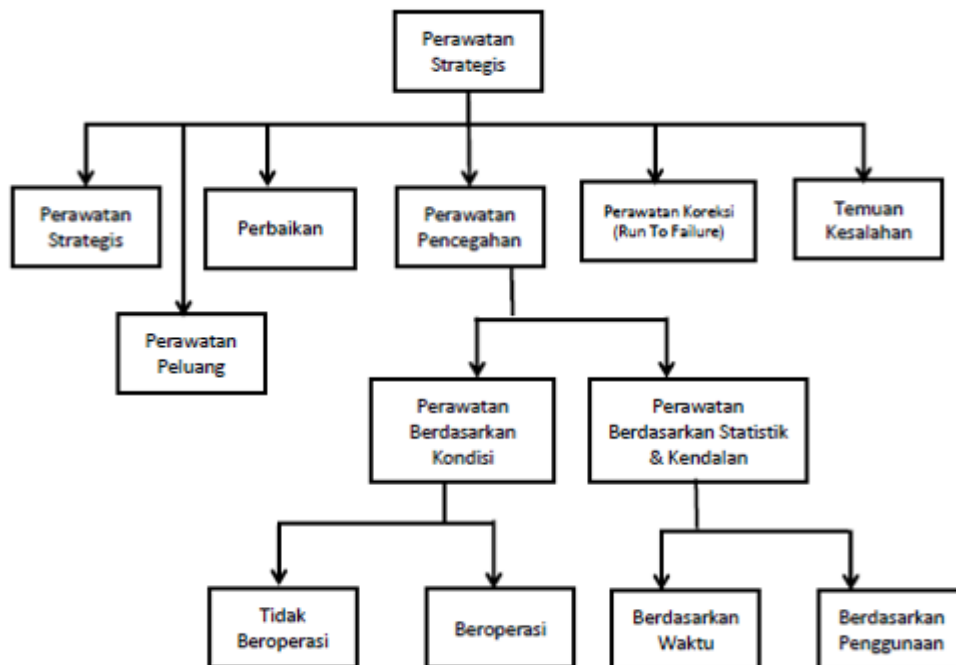
1. Meminimasi *downtime*
2. Memperbaiki kualitas
3. Meningkatkan produktifitas
4. Menyerahkan pesanan tepat waktu

Tujuan utama dilakukan sistem manajemen perawatan lain menurut *Japan Institute of Plan Maintenance dan Consultant TPM India*, secara detail disebutkan sebagai berikut:

1. Memperpanjang umur pakai fasilitas produksi.
2. Menjamin tingkat ketersediaan optimum dari fasilitas produksi.
3. Menjamin kesiapan operasional seluruh fasilitas yang diperlukan untuk pemakaian darurat.
4. Menjamin keselamatan operator dan pemakaian fasilitas.
5. Mendukung kemampuan mesin dapat memenuhi kebutuhan sesuai dengan fungsi.
6. 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.
7. Mencapai tingkat biaya perawatan serendah mungkin (*lowest maintenance cost*) dengan melaksanakan kegiatan *maintenance* secara efektif dan efisien.
8. Mengadakan kerjasama yang erat dengan fungsi-fungsi utama lainnya dalam perusahaan untuk mencapai tujuan utama perusahaan, yaitu keuntungan yang sebesar-besarnya dan total biaya yang rendah.

2.2.3 Strategi Perawatan (*Maintenance*)

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 digunakan oleh suatu perusahaan umumnya terbagi dalam dua bagian yaitu perawatan terencana (*planned maintenance*) dan perawatan tidak terencana (*unplanned maintenance*). Pada gambar 2.4 diperhatikan beberapa macam strategi yang dapat digunakan menurut Duffua et al (1999) dalam Ansori dan Mustajib (2013).



Gambar 2.4 Macam Strategi Perawatan

(Sumber : Ansori dan Mustajib, 2013)

Strategi perawatan akan diuraikan masing-masing sebagaimana tersebut:

1. Penggantian (*Replacement*)

Merupakan penggantian peralatan/komponen untuk melakukan peralatan. 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 fungsinya suatu system sesuai pada keadaan normalnya.

2. Perawatan peluang (*Opportunity maintenance*)

Perawatan dilakukan ketikan 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*).

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 besar sub sistem berada pada kondisi yang handal.

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 produksi. Dalam prakteknya *preventive maintenance* yang dilakukan oleh perusahaan dibedakan atas:

a. *Routine maintenance*

Yaitu kegiatan pemeliharaan terhadap kondisi dasar mesin dan mengganti suku cadang yang aus atau rusak yang dilakukan secara rutin misalnya setiap hari. Contoh: pembersihan peralatan, pelumasan atau pengecekan oli, pengecekan bahan bakar, pemanasan mesin-mesin sebelum dipakai berproduksi.

b. *Periodic maintenance*

Yaitu kegiatan pemeliharaan yang dilakukan secara periodik atau dalam jangka waktu tertentu misalnya satu minggu sekali, dengan cara melakukan inspeksi secara berkala dan berusaha memulihkan bagian mesin yang cacat atau tidak sempurna. Contoh: penyetelan katup-katup pemasukan dan pembuangan, pembongkaran mesin untuk penggantian bearing.

c. *Running maintenance*

Merupakan pekerjaan perawatan yang dilakukan pada saat fasilitas produksi dalam keadaan bekerja. Perawatan ini termasuk cara perawatan yang direncanakan untuk diterapkan pada peralatan atau pemesinan dalam keadaan operasi. Biasanya diterapkan pada mesin-mesin yang harus terus menerus beroperasi dalam melayani proses produksi. Kegiatan perawatan dilakukan dengan jalan pengawasan secara aktif (*monitoring*). Diharapkan hasil perbaikan yang telah dilakukan secara tepat dan terencana ini dapat menjamin kondisi operasional tanpa adanya gangguan yang mengakibatkan kerusakan.

d. *Shutdown maintenance*

Merupakan kegiatan yang hanya dapat dilaksanakan pada waktu fasilitas produksi sengaja dimatikan atau dihentikan.

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

- a. Menghindari terjadinya kerusakan.
- b. Mendeteksi awal terjadinya kerusakan.
- c. Menemukan kerusakan yang tersembunyi.
- d. Mengurangi waktu yang menganggur.
- e. Meningkatkan ketersediaan (*availability*) untuk produksi.

- f. Pengurangan penggantian suku cadang, sehingga membantu pengendalian persediaan.
- g. Meningkatkan efisiensi mesin.
- h. Memberikan pengendalian anggaran dan biaya yang diandalkan.
- i. Memberikan informasi untuk pertimbangan penggantian mesin.

Bentuk *preventive maintenance* dapat dibedakan atas *time-based* atau *used-based*.

- a. *Time-based*: perawatan dilakukan setelah peralatan digunakan sampai satu satuan waktu tertentu.
- b. *Used-based*: perawatan dilakukan berdasarkan frekuensi penggunaan. Untuk menentukan frekuensi yang tepat perlu diketahui distribusi kerusakan atau keandalan peralatan.

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/meningkatkan kapasitas maupun kinerja peralatan.

6. Perawatan Koreksi (*Breakdown/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 berfungsi dengan baik. *Breakdown maintenance* merupakan kegiatan yang dilakukan setelah terjadinya kerusakan dan untuk memperbaikinya tentu kita harus menyiapkan suku cadang dan perlengkapan lainnya untuk pelaksanaan tersebut.

Kegiatan perawatan korektif meliputi seluruh aktifitas mengembalikan sistem dari keadaan rusak menjadi dapat beroperasi kembali. Perbaikan baru terjadi ketika mengalami kerusakan, walaupun terdapat beberapa perbaikan yang dapat diundur. Perawatan korektif dapat dihitung sebagai *mean time to*

repair (MTTR). Waktu perbaikan ini meliputi beberapa aktifitas yang terbagi menjadi 3 bagian, antara lain:

- a. persiapan (*preparation time*) berupa persiapan tenaga kerja untuk melakukan pekerjaan ini, adanya perjalanan, adanya alat dan peralatan tes, dan lain-lain.
- b. Perawatan (*active maintenance*) berupa kegiatan rutin dalam pekerjaan perawatan.
- c. Menunggu dan logistik (*delay time and logistik time*) berupa waktu tunggu persediaan.

Strategi *breakdown/corrective maintenance* sering dikatakan sebagai “*run to failure*”. Banyak dilakukan pada komponen elektronik. Suatu keputusan untuk mengoperasikan peralatan sampai terjadi kerusakan karena ditinjau segi ekonomis tidak menguntungkan untuk melakukan suatu perawatan. Berikut adalah alasan mengapa keputusan tersebut diambil:

- a. Biaya yang dikeluarkan lebih sedikit apabila tidak melakukan perawatan pencegahan.
- b. Kegiatan perawatan pencegahan terlalu mahal apabila mengganti peralatan yang rusak.

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. Pada kenyataan kerusakan tersembunyi merupakan situasi yang tidak dapat diperkirakan terjadinya dan sangat mungkin mengakibatkan kecelakaan apabila dioperasikan. Salah satu cara untuk menemukan kerusakan tersembunyi adalah melakukan pemeriksaan dengan mengoperasikan peralatan dan melihat apakah peralatan tersebut beroperasi (*available*) atau tidak.

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

Perawatan berbasis kondisi dilakukan dengan cara memantau kondisi parameter kunci peralatan yang akan mempengaruhi kondisi peralatan. Strategi

perawatan ini dikenal dengan istilah *predictive maintenance*. Contohnya memantau kondisi pelumas dan getaran mesin. Perawatan berbasis kondisi merupakan kegiatan bertujuan mendeteksi awal terjadinya kerusakan. 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. Jadi perawatan berbasis kondisi merupakan suatu peringatan awal untuk membuat suatu tindakan terhadap kerusakan yang lebih parah.

Terdapat dua bentuk pengukuran perawatan ini sebagai berikut:

- a. Mengukur parameter-parameter yang berhubungan dengan performansi suatu peralatan secara langsung seperti temperatur dan tekanan.
- b. Mengukur keadaan peralatan dengan melakukan pengawasan terhadap getaran yang ditimbulkan akibat pengoperasian perawatan tersebut.

Pada perawatan berbasis kondisi, semua bentuk pengukuran tidak diperkirakan, ada beberapa klasifikasi perawatan berbasis kondisi antara lain:

- a. Identifikasi dan melakukan pengukuran terhadap parameter-parameter yang berhubungan dengan awal terjadinya kerusakan.
- b. Menentukan nilai terhadap parameter-parameter tersebut, apabila memungkinkan diambil tindakan sebelum terjadinya kerusakan yang lebih parah.

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.

2.3 Total Productive Maintenance (TPM)

Definisi TPM secara sederhana adalah suatu konsep program pemeliharaan yang melibatkan semua level pekerja yang ada di perusahaan dalam aktifitas pemeliharaan. Berikut gambaran pengertian TPM:

2.3.1 Definisi TPM

Total Productive Maintenance/TPM adalah sebuah program pemeliharaan, yang melibatkan sebuah konsep pemeliharaan pabrik dan peralatan. Tujuan dari TPM ini untuk meningkatkan nilai produksi secara nyata dan pada saat yang sama meningkatkan moral karyawan dan kepuasan kerja. TPM juga membuat pemeliharaan menjadi penting dan vital dalam bisnis. *Downtime* untuk pemeliharaan dijadwalkan sebagai bagian dari *manufacturing* dan tujuannya adalah mencegah kerusakan awal dan pemeliharaan yang tidak terjadwal menjadi sangat minimum. (Venkatesh, 2007).

Sedangkan menurut Nakajima (1988) dalam Ansori dan Mustajib (2013) TPM adalah suatu konsep program tentang pemeliharaan yang melibatkan seluruh pekerja melalui aktivitas grup kecil.

2.3.2 Tujuan TPM

Ansori dan Mustajib (2013) menyatakan bahwa TPM juga bertujuan untuk menghilangkan kerugian proses yang terbagi menjadi 3 bagian, yaitu:

1. Kerugian karena *downtime*

Kerugian sistem produksi yang masuk dalam kelompok ini adalah akibat peralatan yang tidak bisa digunakan pada proses produksi untuk sementara waktu.

2. Kerugian karena kinerja buruk

Kategori ini memfokuskan pada penggunaan peralatan yang hilang sebagai akibat dari hasil peralatan yang dijalankan pada kecepatan yang kurang dari maksimum.

3. Kerugian karena kualitas buruk.

Kerugian yang muncul dari produk yang dihasilkan dalam suatu proses produksi.

Sedangkan menurut Nakajima (1988) dalam Ansori dan Mustajib (2013) tujuan TPM dilakukan adalah:

1. Memperbaiki efektifitas perlengkapan.
2. Mencapai pemeliharaan individu.
3. Merencanakan pemeliharaan.
4. Melatih semua staff dengan keahlian pemeliharaan yang memadai dan sesuai.

2.3.3 Keuntungan TPM

Ansori dan Mustajib (2013) menyatakan implementasi program TPM memiliki keuntungan tambahan dalam memperbaiki kualitas produk, yang mengurangi biaya pengerjaan kembali dan meningkatkan kepuasan konsumen (karena kualitas unggul yang konsisten) . Adapun keuntungan yang bisa dirasakan ketika perusahaan secara sukses mengimplementasikan program TPM antara lain:

1. Peningkatan produktifitas

Penghapusan *downtime* yang tidak terjadwal dan pengerjaan kembali membuat organisasi menghabiskan waktu yang lebih banyak pada tugas nilai – tambah, seperti menghasilkan komponen bagus. Peningkatan dalam produktifitas bisa berlaku bukan hanya untuk peralatan, tapi untuk orang yang bekerja dalam manufaktur juga.

2. Reduksi biaya *maintenance*

Perubahan peran *maintenance* dari perbaikan *breakdown* sampai perbaikan proaktif memudahkan organisasi untuk mengurangi biaya *maintenance* keseluruhan.

3. Reduksi persediaan

Berbagai organisasi manufaktur yang menggunakan peralatan yang tidak handal (reliabel) harus memiliki sebuah stok besar barang jadi yang sebenarnya tidak perlu dan ini digunakan hanya untuk memenuhi kebutuhan konsumen ketika peralatan tidak beroperasi.

4. Peningkatan keamanan

Langkah awal dalam menjalankan aktivitas *autonomous maintenance* dari TPM bisa menciptakan sebuah lingkungan yang dapat meningkatkan kadar kecelakaan.

5. Peningkatan moral

Keuntungan akhir yang dibahas di sini adalah moral pegawai.

2.4 Overall Equipment Effectiveness (OEE)

Menurut Nakajima (1988), *Total Productive Maintenance* (TPM) tergantung kepada tiga konsep:

1. Memaksimalkan penggunaan peralatan-peralatan secara efektif.
2. Perawatan secara otomatis oleh operator.
3. Kelompok aktivitas kecil.

Dari tiga hal tersebut OEE dapat digunakan untuk mengabungkan operasi, perawatan dan manajemen dari peralatan manufaktur dan sumber daya. Penelitian ini menyatakan bahwa keakuratan performansi data peralatan merupakan kunci sukses dan memperpanjang umur efektivitas dari aktivitas TPM. Menurut Nakajima (1988) menyatakan bahwa OEE adalah sebuah alat untuk mengukur keberadaan dari biaya tersembunyi.

Semua aktifitas peningkatan kinerja pabrik dilakukan dengan meminimalisir *input* dan memaksimalkan *output*. Jadi *output* tidak hanya soal produktifitas tetapi juga menyangkut hal lainnya seperti kualitas yang baik, biaya yang lebih rendah, pengiriman tepat waktu, peningkatan pelayanan tentang keselamatan dan kesehatan kerja, moral yang lebih baik serta kondisi dan lingkungan kerja yang semakin nyaman dan menyenangkan. Berikut hubungan antara *input* dan *output*:

Input Output	Keuangan			Metode Manajemen
	Manusia	Mesin	Material	
Produksi (P)				Pengontrolan Produksi
Kapasitas (Q)				Pengontrolan Kualitas
Biaya (C)				Pengontrolan Biaya
Penyerahan (D)				Pengontrolan Penyerahan
Keselamatan (S)				Keselamatan dan Polusi
Moral (M)				Hubungan Manusia
	Alokasi Tenaga Kerja	Engineering dan Perawatan	Pengontrolan Persediaan	

Gambar 2.6 Matriks Hubungan Input dan Output dalam Aktifitas Produksi.

(Sumber : Nakajima, 1988)

Dalam matriks di atas dapat terlihat bahwa faktor keteknikan dan perawatan berhubungan langsung dengan semua faktor output yaitu produksi, kualitas, biaya, penyerahan, keselamatan dan kesehatan kerja juga moral setiap individu di dalam perusahaan. Dengan peningkatan otomasi mesin, proses produksi yang sebelumnya manual akan bergeser menjadi permesinan. Sehingga masalah permesinan menjadi faktor yang penting untuk diketahui kondisinya.

Nakajima (1988) juga menyarankan OEE untuk mengevaluasi perkembangan dari TPM karena keakuratan data peralatan produksi sangat penting terhadap kesuksesan perbaikan berkelanjutan dalam jangka panjang. Jika data tentang kerusakan peralatan produksi dan alasan kerugian-kerugian produksi tidak dimengerti, maka aktivitas apapun yang dilakukan tidak akan dapat menyelesaikan masalah penurunan kinerja sistem operasi.

2.4.1 Definisi *Overall Equipment Effectiveness (OEE)*

Menurut Ansori dan Mustajib (2013) *Overall Equipment Effectiveness (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 satu sistem produktif. Kemampuan mengidentifikasi secara jelas akar permasalahan dan faktor penyebabnya sehingga membuat usaha perbaikan menjadi terfokus

merupakan faktor utama metode ini diaplikasikan secara menyeluruh oleh banyak perusahaan di dunia.

Overall Equipment Effectiveness (OEE) adalah sebuah metrik yang berfokus pada seberapa efektif suatu operasi produksi yang dijalankan. Hasil yang dinyatakan dalam bentuk yang bersifat umum sehingga memungkinkan perbandingan antara unit manufaktur di industri yang berbeda. Pengukuran *OEE* juga biasanya digunakan sebagai indikator kinerja utama *Key Performance Indicator* (KPI) dalam implementasi *lean manufacturing* untuk memberikan keberhasilan yang diinginkan.

OEE bukan hal baru dalam dunia industri dan manufaktur. Teknik pengukurannya sudah pernah dipelajari dari tahun ke tahun dengan tujuan untuk menyempurnakan perhitungan, sehingga hasil pengukuran OEE sangat berguna untuk memberikan kesempatan kepada bidang usaha manufaktur yang lain. Hasil dari perhitungan tersebut, nantinya akan dijadikan acuan untuk usulan perbaikan terhadap proses yang ada di perusahaan tersebut.

Menurut Ansori dan Mustajib (2013) dalam pelaksanaan OEE ada beberapa manfaat yang dapat diambil dari OEE antara lain:

1. Dapat digunakan untuk menentukan *starting point* dari perusahaan ataupun peralatan/mesin.
2. Dapat digunakan untuk mengidentifikasi kejadian *bottleneck* di dalam peralatan/mesin.
3. Dapat digunakan untuk mengidentifikasi kerugian produktifitas (*true productivity losses*).
4. Dapat digunakan untuk menentukan prioritas dalam usaha untuk meningkatkan OEE dan peningkatan produktifitas

2.4.2 Tujuan Implementasi *Overall Equipment Effectiveness* (OEE)

Menurut Muwajih (2015) Penggunaan OEE sebagai *performance indicator*, mengambil periode waktu tertentu seperti: pershift, harian, mingguan, bulanan maupun tahunan. Pengukuran OEE lebih efektif digunakan pada suatu peralatan

produksi. OEE juga dapat digunakan dalam beberapa jenis tingkatan pada sebuah lingkungan perusahaan yaitu:

1. OEE dapat digunakan sebagai *benchmark* untuk mengukur rencana perusahaan dalam performansi.
2. Nilai OEE, perkiraan dari suatu aliran produksi dapat digunakan untuk membandingkan garis performansi melintang dari perusahaan, maka akan terlihat aliran yang tidak penting.
3. Jika proses permesinan dilakukan secara individual, OEE dapat mengidentifikasi mesin manakah yang mempunyai performansi buruk dan bahkan mengidentifikasi fokus dari sumber daya TPM.

Selain digunakan untuk mengetahui performansi peralatan di perusahaan, hasil pengukuran OEE ini bisa menjadi bahan pertimbangan keputusan dalam pembelian peralatan baru. Sehingga dapat diketahui dengan jelas pembelian peralatan sesuai dengan kapasitas yang diinginkan oleh perusahaan dalam rangka memenuhi permintaan pelanggan. Oleh sebab itu, dengan menggabungkan metode lain seperti *Basic Quality Tools (Diagram Pareto, Ishikawa Diagram)* faktor penyebab menurunnya nilai OEE dapat diketahui. Sehingga dengan cepat usaha perbaikan akan dilakukan.

2.4.3 Perhitungan Nilai Overall Equipment Effectiveness (OEE)

Berikut perhitungan nilai OEE yang meliputi *Availability, Performance,* dan *Quality* yang secara matematik dapat diformulasikan sebagai berikut:

Sumber: Nakajima (1988)

$$OEE = Availability \times Performance \times Quality$$

$$OEE = A \times PE \times Q$$

1. *Availability*

Availability merupakan rasio *operation time* terhadap waktu *loading time*-nya sehingga untuk menghitung *availability* mesin dibutuhkan nilai dari:

- a. *Operation time*
- b. *Loading time*
- c. *Downtime*

Nilai *availability* dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$Availability = \frac{Loading\ time - Downtime}{Loading\ time} \times 100\%$$

$$Availability = \frac{Operation\ time}{Loading\ time} \times 100\%$$

Loading time adalah waktu yang tersedia (*availability*) per hari atau per bulan dikurangi dengan waktu *downtime* mesin yang direncanakan (*planned downtime*). $Loading\ time = Total\ availability - Planned\ downtime$

Planned downtime adalah jumlah waktu *downtime* mesin untuk pemeliharaan (*scheduled maintenance*) atau kegiatan manajemen lainnya.

Operation time merupakan hasil pengurangan *loading time* dengan waktu *downtime* mesin (*non-operation time*), dengan kata lain *operation time* adalah waktu operasi tersedia (*availability time*) setelah waktu *downtime* mesin dikeluarkan dari total *availability time* yang direncanakan.

Downtime mesin adalah waktu proses yang seharusnya digunakan mesin akan tetapi karena adanya gangguan pada mesin/peralatan (*equipment failure*) mengakibatkan tidak ada *output* yang dihasilkan. *Downtime* meliputi mesin berhenti beroperasi akibat kerusakan mesin, pelaksanaan prosedur *set up* dan *adjustment* dan lain-lainnya.

$$Downtime = Breakdown\ time + Set\ up\ and\ Adjustment$$

$$Operation\ time = Loading\ time - Downtime$$

2. Performance Efficiency

Performance efficiency merupakan hasil perkalian dari *operation speed rate* dan *net operation rate*, atau rasio kuantitas produk yang dihasilkan dikalikan dengan waktu siklus idealnya terhadap waktu yang tersedia untuk melakukan proses produksi (*operation time*).

Operation speed rate merupakan perbandingan antara kecepatan ideal mesin berdasarkan kapasitas mesin sebenarnya (*theoretical/ideal cycle time*) dengan kecepatan aktual mesin (*actual cycle time*).

$$Operation\ speed\ rate = \frac{Ideal\ cycle\ time}{Actual\ cycle\ time}$$

$$Net\ Operation\ rate = \frac{Processed\ amount \times Actual\ cycle\ time}{Operation\ time}$$

Net operation rate merupakan perbandingan antara jumlah produk yang diproses (*process amount*) dikali *actual cycle time* dengan *operation time*. *Net operation time* berguna untuk menghitung rugi yang diakibatkan oleh *minor stoppage* dan menurunnya kecepatan produksi (*reduced speed*). Tiga faktor penting yang dibutuhkan untuk menghitung *performance efficiency*:

1. *Ideal cycle* (waktu siklus ideal)
2. *Processed amount* (Jumlah produk yang diproses)
3. *Operation time* (waktu operasi mesin)

Performance efficiency dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Performance efficiency} = \frac{\text{Processed amount} \times \text{Actual cycle time}}{\text{Operation time}} \times \frac{\text{Ideal cycle time}}{\text{Actual cycle time}}$$

$$\text{Performance efficiency} = \frac{\text{Processed amount} \times \text{Ideal cycle time}}{\text{Operation time}} \times 100\%$$

3. *Rate of Quality Product*

Rate of quality product merupakan rasio jumlah produk yang baik terhadap total produk yang diproses. *Rate of quality product* memperhatikan dua faktor berikut:

1. *Processed amount* (jumlah yang diproduksi)
2. *Defect amount* (jumlah produk yang cacat termasuk produk *scrap*)

Rate of Quality Product dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

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

2.4.4 Six Big Losses (Enam Kerugian Besar)

TPM ditujukan untuk memaksimalkan efektivitas dari fasilitas dan dengan demikian membantu melaksanakan proses produksi. Semua fasilitas dapat mengalami kerugian, hal-hal yang mencegah fasilitas dari beroperasi secara efektif disebabkan oleh kesalahan dan masalah operasi. Menurut David (1995) dalam Irsan (2015) dalam rangka meningkatkan efektivitas fasilitas harus diukur dan dikurangi besarnya kerugian yang dikenal dengan enam kerugian besar (*six big losses*) dari *Downtime losses* yaitu *equipment failure (breakdown loss)* dan *setup and adjustment loss*. *Speed losses* yaitu *idling and minor stoppages* dan *reduce speed loss*. *Defect losses* yaitu *process defects loss* dan *reduce yield loss*.

1. *Equipment Failure (Breakdown Loss)*

Equipment failure (breakdown loss) yaitu kerusakan mesin/peralatan yang tiba-tiba yang akan menyebabkan kerugian, karena kerusakan mesin akan menyebabkan mesin tidak beroperasi menghasilkan output. Untuk menghitung *equipment failure (breakdown loss)* digunakan rumus:

$$\text{Equipment Failure (Breakdown Loss)} = \frac{\text{Total breakdown time}}{\text{Loading time}} \times 100\%$$

2. *Setup and Adjustment Loss*

Setup and adjustment loss yaitu kerugian karena pemasangan dan penyetelan yaitu semua waktu *setup* termasuk waktu penyesuaian (*adjustment*) dan juga waktu yang dibutuhkan untuk kegiatan-kegiatan pengganti satu jenis produk ke jenis produk berikutnya untuk proses produksi selanjutnya. Untuk menghitung *setup and adjustment loss* digunakan rumus:

$$\text{Setup and Adjustment Loss} = \frac{\text{Total setup and Adjustment}}{\text{Loading time}} \times 100\%$$

3. *Idle and Minor Stoppages*

Idle and minor stoppages disebabkan oleh kejadian-kejadian seperti pemberhentian mesin sejenak, kemacetan mesin, dan *idle time* dari mesin. Kenyataannya, kerugian ini tidak dapat dideteksi secara langsung tanpa adanya alat pelacak. Ketika operator tidak dapat memperbaiki pemberhentian yang bersifat *minor stoppage* dalam waktu yang telah ditentukan, dapat dianggap sebagai suatu *breakdown*. *Non productive time* merupakan waktu yang mengakibatkan mesin beroperasi tanpa menghasilkan produk di karenakan gangguan di luar mesin (gangguan listrik padam, keterlambatan bahan baku, pembersihan mesin dll) sehingga mesin tidak bekerja secara produktif. Untuk menghitung *idle and minor stoppages* digunakan rumus:

$$\text{Idle and Minor Stoppages} = \frac{\text{Non productive time}}{\text{Loading time}} \times 100\%$$

4. *Reduce Speed Loss*

Reduce speed loss yaitu kerugian karena mesin tidak bekerja optimal (penurunan kecepatan operasi). *Ideal cycle time* adalah waktu proses yang diharapkan dapat dicapai dalam keadaan optimal atau tidak mengalami

hambatan selama proses produksi. Untuk menghitung *reduce speed loss* digunakan rumus:

$$\text{Reduce Speed Loss} = \frac{\text{Operation time} - (\text{Ideal cycle time} \times \text{Processed amount})}{\text{Loading time}} \times 100\%$$

5. *Process Defects Loss*

Process defects loss yaitu kerugian yang disebabkan karena adanya produk cacat maupun karena kerja produk diproses ulang. Untuk menghitung *process defects loss* digunakan rumus:

$$\text{Process Defects Loss} = \frac{\text{Ideal cycle time} \times \text{Total defect amount}}{\text{Loading time}} \times 100\%$$

6. *Reduce Yield Loss*

Reduce yield loss kerugian yang disebabkan karena adanya sampah bahan baku (*scrap*) ataupun jumlah sisa produk yang tidak terpakai. Untuk menghitung *reduce yield loss* digunakan rumus:

$$\text{Reduce yield loss} = \frac{\text{Ideal cycle time} \times \text{Scrap}}{\text{Loading time}} \times 100\%$$

2.4.5 Standar Nilai OEE Kelas Dunia

Menurut *Japan Institute of Plant Maintenance* (JIPM), Standar Nilai OEE Kelas Dunia adalah sebuah ukuran kinerja yang telah disepakati dan dianjurkan di dalam dunia industri bagi sebuah perusahaan yang menetapkan implementasi TPM dalam aktifitas produksinya.

Standar ini bersifat relatif karena pada beberapa buku dan perusahaan menunjukkan standar skor yang berbeda. Standar nilai ini selalu didorong lebih tinggi, sejalan meningkatnya persaingan dan harapan. Berikut ini adalah nilai ideal/acuan kinerja OEE kelas dunia adalah sebagai berikut:

Tabel 2.1 Nilai Ideal Kinerja OEE

OEE factor	OEE procented (world class)
Availability	90.0%
Performance	95.0%
Quality	99.0%
Overall OEE	85.0%

Sumber: (<http://www.oeec.com/world-class-oeec.html>)

Berikut penjelasan standar nilai OEE pada tabel di atas:

1. Jika OEE = 100%, maka produksi dianggap sempurna: Hanya memproduksi produk tanpa cacat, bekerja dalam *performance* yang cepat dan tidak ada *downtime*.
2. Jika OEE = 85%, produksi dianggap kelas dunia. Bagi banyak perusahaan, skor ini merupakan skor yang cocok untuk dijadikan tujuan jangka panjang.
4. Jika OEE = 60%, produksi dianggap wajar, tetapi menunjukkan ada ruang yang besar untuk *improvement*.
5. Jika OEE = 40%, produksi dianggap memiliki skor yang rendah, tetapi dalam kebanyakan kasus dapat dengan mudah di *improve* melalui pengukuran langsung (misalnya dengan menelusuri alasan-alasan *downtime* dan menangani sumber-sumber penyebab *downtime* secara satu-persatu).

Jadi, apabila suatu perusahaan ingin diakui mempunyai tingkat kinerja skala dunia, maka nilai OEE perusahaan tersebut harus mencapai standar nilai OEE kelas dunia yang telah ditetapkan.

2.5 Fishbone Diagram

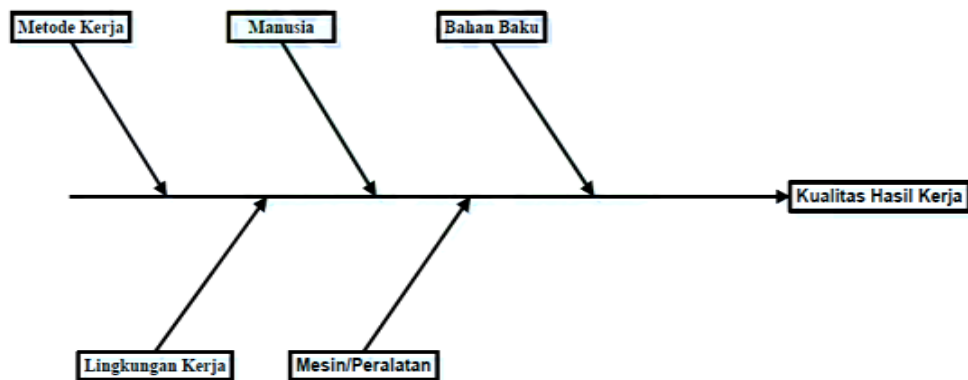
Diagram sebab akibat adalah gambar pengubahan dari garis dan simbol yang didesain untuk mewakili hubungan yang bermakna antara akibat dan penyebabnya. Dikembangkan oleh Dr. Kaoru Ishikawa pada tahun 1943 dan terkadang dikenal dengan diagram Ishikawa. Diagram sebab akibat adalah suatu pendekatan terstruktur yang memungkinkan analisis yang lebih terperinci untuk menemukan penyebab-penyebab suatu masalah, ketidaksesuaian dan kesenjangan yang ada. Diagram sebab akibat dapat digunakan apabila pertemuan diskusi dengan menggunakan *brainstorming* untuk mengidentifikasi mengapa suatu masalah terjadi, diperlukan analisis lebih terperinci dari suatu masalah dan terdapat kesulitan untuk memisahkan penyebab dan akibat. Untuk mencari faktor-faktor penyebab terjadinya penyimpangan kualitas hasil kerja maka orang akan selalu mendapatkan bahwa lima faktor penyebab utama signifikan yang perlu diperhatikan, yaitu:

1. Manusia (*Man*)
2. Metode Kerja (*Work Method*)

3. Mesin/Peralatan Kerja Lainnya (*Machine/Equipment*)
4. Bahan Baku (*Raw Material*)
5. Lingkungan Kerja (*Work Environment*)

Cause and effect diagram seperti pada Gambar 1 dapat digunakan untuk hal-hal sebagai berikut:

1. Untuk menyimpulkan sebab-sebab variasi dalam proses
2. Untuk mengidentifikasi kategori dan sub-kategori sebab-sebab yang mempengaruhi karakteristik kualitas tertentu.



Gambar 2.7 Diagram Sebab Akibat (Rahayu, 2014)

Penggunaan diagram sebab akibat mengikuti langkah-langkah (Gaspersz, 1997) berikut :

1. Dapatkah kesepakatan tentang masalah yang terjadi dan ungkapkan masalah itu sebagai suatu pertanyaan masalah.
2. Temukan sekumpulan penyebab yang mungkin, dengan menggunakan teknik brainstorming atau membentuk anggota tim yang memiliki ide-ide yang berkaitan dengan masalah yang sedang dihadapi.
3. Gambarkan diagram dengan pertanyaan mengenai masalah untuk ditempatkan pada sisi kanan (membentuk kepala ikan) dan kategori utama, seperti bahan baku, metode, manusia, mesin, dan lingkungan ditempatkan pada cabang utama (membentuk tulang-tulang besar dari ikan). Kategori utama dapat diubah sesuai kebutuhan.
4. Tetapkan setiap penyebab dalam kategori utama yang sesuai dengan menempatkannya pada cabang yang sesuai.

5. Untuk setiap penyebab yang mungkin, tanyakan ”mengapa” untuk menemukan akar penyebab, kemudian tulis akar-akar penyebab itu pada cabang-cabang yang sesuai dengan kategori utama (membentuk tulang-tulang kecil dari ikan). Untuk menemukan akar penyebab, kita dapat menggunakan teknik bertanya ”mengapa ” sampai lima kali, tapi jika pada pertanyaan ke-1 atau 2 kali sudah tidak bisa dilakukan, maka akar utama sudah ditemukan.
6. Interpretasi atas diagram sebab-akibat itu adalah dengan melihat penyebab-penyebab yang muncul secara berulang, kemudian dapatkan kesepakatan melalui konsensus tentang penyebab tersebut. Selanjutnya, fokuskan perhatian pada penyebab yang dipilih melalui konsensus. Alasan yang lebih kuat untuk menentukan prioritas dominan adalah dengan mereferensi data yang ditemukan saat analisa kondisi yang ada di lapangan.
7. Terapkan hasil analisis dengan menggunakan diagram sebab-akibat, dengan cara mengembangkan dan mengimplementasikan tindakan korektif yang dilakukan efektif karena telah menghilangkan akar penyebab dari masalah yang dihadapi.

2.6 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

FMEA merupakan salah satu program peningkatan dan pengendalian kualitas yang dapat mencegah terjadi kegagalan dalam suatu produk atau proses. Berikut adalah beberapa definisi FMEA yaitu:

2.6.1 Definisi FMEA

1. FMEA menurut Pande (2002) dalam Rusmiati (2012)
 “FMEA adalah sekumpulan petunjuk, sebuah proses, dan form untuk mengidentifikasi dan mendahulukan masalah-masalah potensial (kegagalan)”.
2. FMEA menurut Rusmiati (2012)
 “FMEA adalah metode untuk mengidentifikasi dan menganalisa potensi kegagalan dan akibatnya yang bertujuan untuk merencanakan proses produksi secara baik dan dapat menghindari kegagalan proses produksi dan kerugian yang tidak diinginkan”.

2.6.2 Hal yang Diidentifikasi dalam Proses FMEA

Berikut ini adalah hal-hal yang diidentifikasi dalam process FMEA yaitu (Besterfield (1995) dalam Rusmiati (2012)):

1. *Process function requirement*

Mendeskripsikan proses yang dianalisa. Tujuan proses harus diberikan selengkap dan sejelas mungkin. Jika proses yang dianalisa melibatkan lebih dari satu operasi, masing-masing operasi harus disebutkan secara terpisah disertai deskripsinya.

2. *Potential failure mode*

Dalam process FMEA, salah satu dari tiga tipe kesalahan harus disebutkan disini. Yang pertama dan paling penting adalah cara dimana kemungkinan proses dapat gagal. Dua bentuk lainnya termasuk bentuk kesalahan potensial dalam operasi berikutnya dan pengaruh yang terkait dengan kesalahan potensial dalam operasi sebelumnya.

3. *Potential effect of failure*

Sama dengan design FMEA, pengaruh potensial dari kesalahan adalah pengaruh yang diterima oleh konsumen. Pengaruh kesalahan harus digambarkan dalam kaitannya dengan apa yang dialami konsumen. Pada *potential effect of failure* juga harus dinyatakan apakah keselamatan akan mempengaruhi keselamatan seseorang atau melanggar beberapa peraturan produk.

4. *Severity*

Nilai tingkat keparahan dari akibat yang ditimbulkan terhadap konsumen maupun terhadap kelangsungan proses selanjutnya yang secara tidak langsung juga merugikan. Nilai *severity* terdiri dari rating 1-10. Semakin parah efek yang ditimbulkan, semakin tinggi nilai rating yang diberikan.

5. *Klasifikasi (class)*

Kolom ini digunakan untuk mengklasifikasikan beberapa karakteristik produk khusus untuk komponen, sub sistem atau sistem-sistem yang mungkin memerlukan kontrol proses tambahan.

6. *Potential cause*

Penyebab potensial kesalahan diartikan bagaimana kesalahan dapat terjadi, digambarkan dari segala sesuatu yang dapat diperbaiki atau dikendalikan. Setiap penyebab kesalahan yang memungkinkan untuk masing-masing kesalahan yang dibuat harus selengkapnya dan sejelas mungkin.

7. *Occurance*

Seberapa sering kemungkinan penyebab kegagalan terjadi. Nilai *occurance* ini diberikan untuk setiap penyebab kegagalan yang terdiri dari rating 1-10. Semakin sering penyebab kegagalan terjadi, semakin tinggi nilai rating yang diberikan.

8. *Current process control*

Current process control merupakan deskripsi *control* yang dapat mencegah sejauh memungkinkan bentuk kesalahan dari kejadian atau mendeteksi bentuk kesalahan yang terjadi.

9. *Detection*

Merupakan seberapa jauh penyebab kegagalan dapat terjadi yang terdiri dari rating 1-10. Semakin sering penyebab kegagalan terjadi, semakin tinggi nilai rating yang diberikan.

10. RPN

Risk priority number (RPN) adalah suatu sistem matematis yang menerjemahkan sekumpulan dari efek dengan tingkat keparahan (*severity*) yang serius, sehingga dapat menciptakan suatu kegagalan yang berkaitan dengan efek-efek tersebut (*occurance*), dan mempunyai kemampuan untuk mendeteksi kegagalan-kegagalan (*detection*) tersebut sebelum sampai ke konsumen. RPN merupakan perkalian dari rating *occurance* (O), *severity* (S) dan *detection* (D)
$$RPN = O \times S \times D$$

Nilai RPN berkisar dari 1-1000, dengan 1 sebagai kemungkinan risiko desain terkecil. Nilai RPN dapat digunakan sebagai panduan untuk mengetahui masalah yang paling serius, dengan indikasi angka yang paling tinggi memerlukan prioritas penanganan yang serius.

11. Recommended Action

Recommended Action mempunyai tujuan untuk mengurangi satu atau lebih kriteria yang menyusun RPN. Peringkat dalam tingkat *design validation* akan menghasilkan pengurangan di tingkat *detection*. Hanya memindahkan atau mengontrol satu atau lebih dari penyebab/modus cacat melalui revisi desain yang bisa berefek pada penurunan peringkat *occurrence*. Dan hanya revisi desain yang bisa membawa pengurangan peringkat *severity*.

2.6.3 Saran Pedoman Risiko untuk Proses FMEA

Saran pedoman risiko untuk *severity* (keparahan), *occurrence* (kejadian), dan *detection* (deteksi) untuk proses FMEA dapat dilihat pada Tabel 2.2, Tabel 2.3, dan Tabel 2.4.

Tabel 2.2 Tingkat *Severity* (keparahan) yang Disarankan untuk FMEA

Efek	Rangking	Kriteria
Tidak ada	1	Mungkin terlihat oleh operator
Sangat Sedikit	2	Tidak ada pengaruh untuk proses selanjutnya
Sedikit	3	Pengguna akan mungkin melihat pengaruhnya tetapi pengaruh sedikit
Minor	4	Proses sekitar dan/atau selanjutnya mungkin ikut terpengaruh
Sedang	5	Dampak akan terlihat sepanjang operasi
Parah	6	Mengganggu proses selanjutnya
Tingkat keparahan tinggi	7	<i>Downtime</i> yang signifikan
Tingkat keparahan yang sangat tinggi	8	<i>Downtime</i> yang signifikan dan dampak finansial yang besar
Tingkat keparahan yang ekstrim	9	Kegagalan menghasilkan efek berbahaya, perhatian pada keamanan dan peraturan terkait
Tingkat keparahan maksimum	10	Kegagalan menghasilkan efek berbahaya, serta membahayakan operator

(Sumber: Dyadem, (2003) dalam Irsan, (2015))

Tabel 2.3 Tingkat *Occurrence* (Kejadian) yang Disarankan untuk FMEA

Rangking	Occurrence
Peluang kegagalan setiap 5 tahun	1
Peluang kegagalan setiap 2 tahun	2
Peluang kegagalan setiap tahun	3
Peluang kegagalan setiap 6 bulan	4
Peluang kegagalan setiap 3 bulan	5
Peluang kegagalan setiap bulan	6
Peluang kegagalan setiap minggu	7
Peluang kegagalan setiap hari	8
Peluang kegagalan setiap shift	9
Peluang kegagalan setiap jam	10

(Sumber: Dyadem, (2003) dalam Irsan, (2015))

Tabel 2.4 Tingkat *Detection* (Deteksi) yang Disarankan untuk FMEA

Deteksi	Rangking	Keterangan
Hampir pasti	1	<i>Design control</i> hampir pasti untuk dapat mendeteksi penyebab potensial dan mode kegagalan berikutnya. <i>Machinery control</i> tidak diperlukan
Sangat tinggi	2	Kesempatan yang sangat tinggi bahwa <i>design control</i> akan mendeteksi penyebab potensial dan mode kegagalan berikutnya. <i>Machinery control</i> tidak diperlukan
Tinggi	3	Kemungkinan tinggi bahwa <i>design control</i> akan mendeteksi penyebab potensial dan mode kegagalan berikutnya. <i>Machinery control</i> akan mencegah kegagalan yang segera terjadi dan menghentikan penyebabnya.
Kemungkinan yang tinggi	4	Kesempatan yang cukup tinggi bahwa <i>design control</i> akan mendeteksi penyebab potensial dan mode kegagalan berikutnya. <i>Machinery control</i> akan mencegah kegagalan yang segera terjadi
Kemungkinan menengah	5	<i>Design control</i> cukup untuk mendeteksi penyebab potensial dan mode kegagalan berikutnya. <i>Machinery control</i> akan mencegah kegagalan yang segera terjadi
Kemungkinan yang rendah	6	Kesempatan rendah bahwa <i>design control</i> akan mendeteksi penyebab potensial dan mode kegagalan berikutnya. <i>Machinery control</i> akan memberikan indikator kegagalan terdekat
Kemungkinan yang lebih rendah	7	<i>Design</i> dan <i>machinery control</i> tidak mencegah kegagalan terjadi. <i>Machinery control</i> akan mencegah penyebab dan mode kegagalan berikutnya setelah kegagalan terjadi

Kemungkinan yang sangat rendah	8	Kecil kesempatan dari <i>design</i> dan <i>machinery control</i> mendeteksi penyebab potensial dan mode kegagalan berikutnya. <i>Machinery control</i> akan memberikan indikasi kegagalan.
Sedikit kemungkinan	9	Sangat kecil kesempatan dari <i>design</i> dan <i>machinery control</i> mendeteksi penyebab potensial dan mode kegagalan berikutnya
Sangat tidak mungkin	10	<i>Desain</i> dan <i>machinery control</i> tidak dapat mendeteksi penyebab potensial dan kegagalan berikutnya, atau tidak ada <i>design</i> atau <i>machinery control</i>

(Sumber: Dyadem, (2003) dalam Irsan, (2015))

2.7 Penelitian Terdahulu

Banyak jurnal-jurnal maupun skripsi yang mengukur nilai *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) Diantaranya adalah:

1. Supriyadi, Gina Ramayanti, Romo Afriansyah (2017), dalam jurnal Sinergi, 2017, Vol. 21, No.3 penelitiannya yang berjudul: Analisa Total *Produktive Maintenance* Dengan Metode *Overall Equipment Effectiveness* Dan *Fuzzy Failure Mode And Effect Analyze*.

“*Ash Handling System* merupakan suatu bagian dari pembangkit listrik tenaga uap dengan bahan bakar batu bara yang berfungsi untuk menyalurkan limbah pembuangan sisa hasil proses pembakaran batu bara pada boiler. Sisa pembakaran terbagi menjadi *fly ash* dan *bottom ash*. Untuk sisa pembakaran *fly ash* akan disalurkan menuju ke *Electrostatic Precipitator* untuk ditangkap dengan metode corona dan ditransfer menuju penampungan *fly ash* dengan cara dimampatkan bersama udara dari kompresor yang melalui pipa-pipa dan tabung transporter. Sedangkan untuk sisa pembakaran *bottom ash* akan disalurkan dengan alat yang disebut SSC (*Submerged Scraper Conveyor*). Gangguan pada SSC dapat terjadi mulai dari *belt* putus, masalah pada penggerak, hingga masalah pada kelistrikan dan instrumennya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai OEE, mengetahui dampak gangguan *belt* sobek, mengetahui penyebab terjadinya *belt conveyor* sobek dan melakukan estimasi hasil perbaikan dari sisi biaya. Penelitian ini menggunakan metode *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) dan *Fuzzy Failure Mode and Effects Analysis*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata nilai OEE pada tahun 2015

sekitar 52,05%, masih di bawah standar nilai OEE sebesar 85%. Penyebab utamanya adalah adanya gangguan belt sobek karena gesekan belt dengan support return ketika *belt conveyor* mengalami jogging yang berdampak pada terganggunya penyaluran abu. Modifikasi dapat menghindari kerugian perusahaan sebesar Rp. 582.548.800,00”.

2. Dinda Hesti Triwardani, Arif Rahman, Ceria Farela Mada Tantrika penelitiannya berjudul: Analisis *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) dalam Meminimalisi *Six Big Losses* pada Mesin Produksi Dual Filters DD07 (Studi Kasus : PT. Filtrona Indonesia, Surabaya, Jawa Timur).

“*Losses* dapat mengurangi efektifitas penggunaan peralatan dalam kegiatan proses produksi. Untuk mengetahui dan meminimumkan *losses* yang terjadi, diperlukan adanya evaluasi kinerja dari peralatan produksi. Mesin produksi Dual Filters DD07 merupakan salah satu peralatan produksi di perusahaan manufaktur filter rokok yang akan dievaluasi efektifitasnya. Pengukuran efektifitas mesin Dual Filters DDO7 dapat dilakukan dengan menggunakan metode *Overall Equipment Effectiveness*. Dalam perhitungan, OEE mengukur efektifitas dengan menggunakan tiga sudut pandang untuk mengidentifikasi *six big losses* (enam kerugian), yaitu *availability*, *performance* dan *quality*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata tingkat efektifitas mesin Dual Filters DD07 selama masa penelitian adalah sebesar 26.22%, dengan rata-rata nilai *availability* 69.88%, *performance* 45.37% dan *quality* 89.06%. Sedangkan, *losses* yang signifikan mempengaruhi nilai efektifitas adalah *idling and minor stoppages losses* dan *reduced speed losses*. Berdasarkan analisis menggunakan FMEA, dapat diketahui bahwa penyebab kegagalan yang akan diperbaiki sesuai urutan prioritas adalah pengaturan *belt* tiap operator berbeda, pengaturan *time* tidak sesuai dan pisau *hopper* tumpul”.

3. Andita Rahayu, dalam jurnal optimasi sistem industri vol 13, No 1 penelitiannya yang berjudul: Evaluasi Efektivitas Mesin Kiln Dengan Penerapan *Total Productive Maintenance* Pada Pabrik II/III PT. Semen Padang”.

PT Semen Padang merupakan sebuah perusahaan yang memproduksi semen juga tidak terlepas dari masalah yang berkaitan dengan efektivitas

mesin/peralatan yang diakibatkan oleh faktor *six big losses* tersebut. Hal ini dapat terlihat dari frekuensi kerusakan yang terjadi pada mesin/peralatan karena kerusakan tersebut sehingga target produksi tidak tercapai. Oleh karena itu diperlukan langkah-langkah efektif dan efisien dalam pemeliharaan mesin/peralatan untuk dapat menanggulangi dan mencegah masalah tersebut. TPM adalah salah satu metode yang dikembangkan di Jepang yang dapat digunakan untuk meningkatkan produktivitas dan efisiensi produksi perusahaan dengan menggunakan mesin/peralatan secara efektif. Tidak tepatnya penanganan dan pemeliharaan mesin/peralatan tidak hanya menyebabkan masalah kerusakan saja, tetapi juga kerugian lain yang disebut dengan *six big losses*. Objek yang diteliti pada penelitian ini adalah mesin Kiln W1 dan W2 yang terdapat pada Pabrik Indarung II/III PT Semen Padang. Tahapan pertama dalam usaha peningkatan efisiensi produksi pada perusahaan ini adalah dengan melakukan pengukuran efektivitas mesin Kiln W1 dan W2 dengan menggunakan metode OEE yang kemudian dilanjutkan dengan pengukuran OEE *Six Big Losses* dan dari faktor *six big losses* tersebut dicari faktor terbesar yang mengakibatkan rendahnya efisiensi mesin Kiln. Data yang digunakan adalah data satu tahun terakhir yaitu Bulan Januari-Desember 2013. Selama periode tersebut, diperoleh nilai OEE pada kiln W1 berkisar antara 49% hingga 96%. Sedangkan nilai OEE mesin kiln W2 berkisar antara 60% hingga 98%. Hal ini berhubungan dengan tingkat *availability* mesin kiln W1 (rata-rata 92%) yang juga cukup rendah bila dibandingkan dengan tingkat *availability* mesin kiln W2 (rata-rata 94%) dikarenakan lamanya waktu kerusakan mesin kiln W1. Bila dilihat dari nilai *performance efficiency* mesin kiln W1 dan W2, maka dapat disimpulkan bahwa nilai rata-rata *performance efficiency* kedua mesin ini hampir sama, yaitu berkisar antara 91% dan 92%. Bila dilakukan analisa OEE *Six Big Losses*, maka yang menjadi penyebab rendahnya OEE pada mesin kiln ini adalah waktu kerusakan mesin yang tergolong dalam frekuensi sering. Hal ini juga berimbas pada penurunan kecepatan kerja mesin kiln.