

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Sejarah Pengecoran

Coran dibuat dari logam yang dicairkan, dituang ke dalam cetakan, kemudian dibiarkan mendingin dan membeku. Sejarah pengecoran dimulai ketika orang mengetahui bagaimana, mencairkan logam dan bagaimana membuat cetakan. Hal itu terjadi kira-kira sekitar tahun 4000 sebelum masehi, sedangkan tahun yang lebih tepat tidak diketahui orang.

Logam digunakan oleh orang pertama kali ialah ketika orang membuat perhiasan dari emas dan perak tempaan, dan kemudian membuat senjata atau mata bajak dengan menempa tembaga, hal itu dimungkinkan karena logam-logam ini terdapat dalam dalam keadaan murni, sehingga dengan mudah orang dapat menemunya. Kemudian secara kebetulan orang menemukan tembaga mencair, selanjutnya mengetahui cara untuk menuang logam cair, dengan demikian untuk pertama kalinya orang membuat coran yang berbentuk rumit, umpamanya perabot rumah, perhiasan atau hiasan makam. Coran tersebut dibuat dari perunggu yaitu suatu paduan tembaga, timah dan timbal yang titik cairnya lebih rendah dari titik cair tembaga.

Pengecoran perunggu dilakukan pertama di Mesopotamia kira-kira 3000 tahun sebelum masehi, teknik ini diteruskan ke Asia Tengah, India dan Cina. Sementara itu teknik pengecoran Mesopotamia diteruskan juga ke Eropa. Di Cina dalam tahun 800-700 sebelum masehi, ditemukan cara membuat coran dari besi kasar yang mempunyai titik cair rendah dan mengandung fosfor tinggi dengan mempergunakan tanur beralas datar. Walapun begitu, baru abad ke 14 saja pengecoran besi kasar dilakukan secara besar-besaran, yaitu ketika Jerman dan Italia meningkatkan tanur beralas datar yang primitif itu menjadi tanur tiup berbentuk silinder, Dimana pencairan dilakukan dengan cara meletakkan biji besi dan arang batu berselang seling.

Kokas ditemukan di Inggris di abad 18, yang kemudian di Perancis di sepakati agar kokas dapat dipakai untuk mencairkan kembali besi kasar dalam

tanur kecil dalam usaha membuat coran. Kemudian tanur yang serupa dengan tanur kupola yang ada sekarang, dibuat di Inggris, dan cara pencairan besi kasar yang dilakukan kira-kira sama dengan cara yang dilakukan orang sekarang. Walaupun sejak masa kuno baja dipakai dalam bentuk tempaan, namun hanyalah sejak H. Bessemer dan W. Siemens sajalah telah diusahakan untuk membuat baja dari besi kasar, dan coran baja diproduksi pada akhir pertengahan abad 19. Coran paduan aluminium dibuat pada akhir abad 19 setelah cara pemurnian dengan elektrolisa ditemukan (Jasmadi, 2015).

2.2 Produktivitas

Dewasa ini kesadaran akan perlunya peningkatan produktivitas semakin meningkat karena adanya suatu keyakinan bahwa perbaikan produktivitas akan memberikan kontribusi positif dalam perbaikan ekonomi. Pandangan tentang kehidupan hari ini harus lebih baik dari pada kehidupan kemarin merupakan suatu pandangan yang memberikan dorongan pemikiran kearah produktivitas. Produktivitas yang sering diartikan sebagai ukuran sampai sejauh mana sumber daya yang ada sebagai masukan sistem produksi dikelola sedemikian rupa untuk mencapai hasil (*output*) dengan tingkat kuantitas dan kualitas tertentu (Purnomo, 2004).

2.2.1 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Produktivitas

Terdapat banyak faktor yang mempengaruhi produktivitas kerja, baik secara internal maupun secara eksternal. Yang termasuk faktor internal diantaranya adalah segala sumber daya yang ada dalam sistem, organisasi dan manajemen, kepemimpinan dan juga teknologi, sedangkan faktor eksternalnya berupa pasar dari produk-produk atau jasa, iklim investasi, peraturan birokrasi, stabilitas keamanan dan sebagainya (Purnomo, 2004).

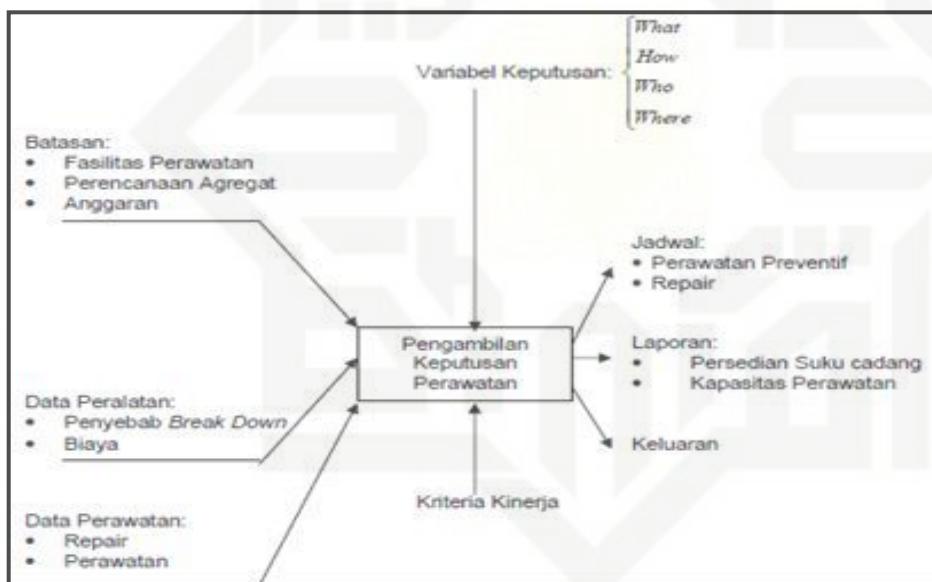
2.2.2 Pengukuran Produktivitas

Sampai sekarang ini yang paling banyak dipakai sebagai faktor pengukur produktivitas adalah tenaga kerja. Konsep pengukuran produktivitas ini mengacu kepada suatu proses produksi yang bertujuan untuk mengukur prestasi organisasi

dalam lingkungan fisik. Namun ada juga yang membagi pengukuran produktivitas menjadi dua kategori yaitu rasio produktivitas statis dan indeks produktivitas dinamis (Purnomo, 2004).

2.3 Maintenance (Perawatan)

Suatu kegiatan industri tidak terlepas dari penggunaan mesin dan peralatan produksi. Kelancaran kegiatan produksi sangat tergantung pada baik tidaknya mesin yang digunakan. Baik tidaknya suatu mesin tergantung pada cara menggunakan mesin tersebut dan perawatan yang dilakukan. Kegiatan perawatan meliputi kegiatan pengecekan, meminyaki (*lubrication*) dan perbaikan atau reparasi atas kerusakan-kerusakan yang ada serta penyesuaian atau penggantian suku cadang (*spare part*) atau komponen yang terdapat pada mesin atau fasilitas tersebut (Jiwantoro, 2013):



Gambar 2.1 Komponen Dasar Sistem Perawatan
(Jiwantoro, 2013)

Dua fungsi jasa yang penting bagi aktivitas produksi adalah perawatan dan penanganan bahan baku. Perawatan yang baik akan menjamin bahwa fasilitas yang masih produktif dapat beroperasi dengan efektif. Hal ini merupakan hasil perpaduan antara perawatan yang mengantisipasi keusangan mesin dan perbaikan mesin secepat-cepatnya sehingga biaya dari sistem mesin dan tenaga kerja yang menganggur dapat diminimumkan (Moore, 1989).

Perawatan (*maintenance*) adalah suatu metode untuk menjaga serta memelihara mesin agar tidak mengalami gangguan dan kerusakan dengan cara melakukan perawatan yang dilaksanakan secara rutin dan teratur. Perawatan merupakan suatu fungsi utama dalam suatu perusahaan yang dapat didefinisikan sebagai suatu kegiatan merawat fasilitas sehingga peralatan tersebut berada dalam kondisi yang siap pakai sesuai dengan kebutuhan. Ada beberapa faktor penyebab kerusakan mesin, yaitu: keausan (*wear out*), korosi (*corrocion*) dan kelelahan (*fatigue*). Pada dasarnya perawatan yang dilakukan adalah agar mesin selalu dalam kondisi bagus dan baik, sehingga tetap siap pakai kapanpun serta membantu ketahanan yang lebih lama (usia mesin menjadi lebih panjang) (Jono, 2015).

Setiap sistem industri atau khususnya pabrik pasti mengalami kendala dengan perawatan dari berbagai fasilitas yang dimilikinya. Hal ini karena semua fasilitas tersebut bersifat fisik dan pasti mengalami penurunan performansi dari waktu ke waktu. Sementara setiap sistem tersebut diharapkan untuk selalu beroperasi dalam rangka mencapai target yang telah disepakati dengan konsumen. Mesin atau peralatan boleh efisien tetapi jika produk yang dihasilkan banyak yang tidak memenuhi syarat kualitas, tetap saja tidak akan mendukung organisasi dalam bersaing. Dicari titik optimum dimana mesin-mesin tetap efisien, tetapi harus mampu mendukung kebutuhan produksi dalam jumlah dan kualitas yang dihasilkan (Hasriyono, 2009).

Perawatan akan menjadi efisien jika konsep manajemen masuk ke dalam aktivitas tersebut. Efisien adalah penggunaan sumber daya yang sekecil mungkin untuk memperoleh *output* semaksimal mungkin. Industri merupakan rangkaian aktifitas yang bertujuan memperoleh keuntungan melalui produk yang dihasilkan sebagai *output* dari proses produksi. *Output* tidak akan berada dalam kondisi yang baik jika proses tidak diperhatikan secara simultan. Oleh sebab itu, manajemen perawatan merupakan cikal bakal terlaksananya kegiatan proses produksi, sebagai *output* dari proses produksi yang berhubungan langsung dengan konsep manajemen perawatan. Manajemen diperlukan oleh setiap aktivitas perawatan

karena perawatan secara umum melibatkan manusia, sehingga dapat membantu organisasi untuk mencapai tujuan yang diinginkan (Kurniawan, 2013).

2.3.1 Tujuan *Maintenance*

Tujuan utama dari sistem perawatan itu dilakukan untuk menghindarkan suatu mesin agar tidak mengalami kerusakan yang berat, sehingga tidak diperlukan waktu yang cukup lama dan juga biaya yang terlalu mahal untuk melakukan perawatan. Sehingga mesin-mesin dapat beroperasi seoptimal mungkin dan kegiatan produksi pun berjalan dengan lancar dan mendapatkan keluaran (*output*) produk yang berkualitas. Prinsip utama dari sistem perawatan terdiri dari dua hal yaitu (Jono, 2015):

1. Menekan (memperpendek) periode kerusakan (*breakdown*) periode sampai batas minimum dengan pertimbangan aspek ekonomis.
2. Menghindari *breakdown* tidak terencana, kerusakan tiba-tiba.

Dengan adanya kegiatan *maintenance* ini, maka mesin atau peralatan produksi dapat digunakan sesuai dengan rencana dan tidak mengalami kerusakan selama jangka waktu tertentu yang telah direncanakan tercapai. Beberapa tujuan *maintenance* yang utama antara lain (Hutagaol, 2009):

1. Kemampuan berproduksi dapat memenuhi kebutuhan sesuai dengan rencana produksi.
2. Menjaga kualitas pada tingkat yang tepat untuk memenuhi apa yang dibutuhkan oleh produk itu sendiri dan kegiatan produksi yang tidak terganggu.
3. Untuk membantu mengurangi pemakaian dan penyimpangan yang diluar batas dan menjaga modal yang diinvestasikan dalam perusahaan selama waktu yang ditentukan sesuai dengan kebijakan perusahaan mengenai investasi tersebut.
4. Untuk mencapai tingkat biaya *maintenance* secara efektif dan efisien keseluruhannya.
5. Untuk menjamin keselamatan orang yang menggunakan sarana tersebut.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak mengikuti kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

6. Memaksimumkan ketersediaan semua peralatan sistem produksi (mengurangi *downtime*).
7. Untuk memperpanjang umur atau masa pakai dari mesin atau peralatan.

Menurut Corder (1992 dikutip oleh Hasriyono, 2009) tujuan pemeliharaan yang utama dapat didefinisikan dengan jelas sebagai berikut:

1. Memperpanjang usia kegunaan aset (yaitu setiap bagian dari suatu tempat kerja, bangunan dan isinya).
2. Menjamin ketersediaan optimum peralatan yang dipasang untuk produksi (atau jasa) dan mendapatkan laba investasi (*return of investment*) maksimum yang mungkin.
3. Menjamin kesiapan operasional dari seluruh peralatan yang diperlukan dalam kegiatan darurat setiap waktu, misalnya unit cadangan, unit pemadam kebakaran dan penyelamat dan sebagianya.
4. Menjamin keselamatan orang yang menggunakan sarana tersebut.

2.3.2 Jenis-Jenis Perawatan (*Maintenance*)

Kegiatan pemeliharaan terbagi kedalam dua bentuk, pemeliharaan terencana (*planned maintenance*) dan pemeliharaan tak berencana (*unplanned maintenance*), dalam bentuk pemeliharaan darurat (*breakdown maintenance*). Pemeliharaan terencana (*planned maintenance*) merupakan tempat kegiatan perawatan yang dilaksanakan berdasarkan perencanaan terlebih dahulu. Pemeliharaan terencana ini terdiri dari pemeliharaan pencegahan (*preventive maintenance*) dan pemeliharaan korektif (*corrective maintenance*) (Hasriyono, 2009).

2.3.2.1 Pemeliharaan Terencana (*Planned Maintenance*)

Planned maintenance merupakan pemeliharaan yang diorganisasikan dan dilakukan dengan pemikiran kemasa depan, pengendalian dan pencatatan sesuai dengan rencana yang telah ditentukan sebelumnya. Keuntungan *planned maintenance* antara lain (Hasriyono, 2009):

1. Pengurangan pemeliharaan darurat, ini tidak diragukan lagi merupakan alasan utama untuk merencanakan kerja pemeliharaan.

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**
2. Pengurangan waktu nganggur, hal ini tidaklah sama dengan pengurangan waktu reparasi pemeliharaan darurat. Waktu yang digunakan untuk pembelian suku cadang, baik dibeli dari luar atau dibuat lokal, mengakibatkan waktu nganggur meskipun pekerjaan darurat tersebut misalnya hanya memasang bagian mesin yang tidak lama.
 3. Menaikkan ketersediaan (*availability*) untuk produksi, hal ini erat hubungannya dengan pengurangan waktu nganggur pada mesin atau pelayanan.
 4. Meningkatkan penggunaan tenaga kerja untuk pemeliharaan dan produksi.
 5. Pengurangan penggantian suku cadang.
 6. Meningkatkan efisiensi mesin atau peralatan.

2.3.2.2 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. Dalam prakteknya *preventive maintenance* yang dilakukan oleh perusahaan dibedakan atas (Ansori, 2013):

1. *Routine Maintenance*

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

2. *Periodic Maintenance*

Yaitu kegiatan yang dilakukan secara periodik atau dalam jangka waktu tertentu misalnya satu minggu sekali, dengan 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*.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak mengikuti kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

3. *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 permesinan dalam keadaan operasi. Biasanya diterapkan pada mesin-mesin yang harus terus menerus beroperasi dalam melayani proses produksi. Kegiatan perawatan dilakukan dengan jalan mengawasi secara aktif (*monitoring*).

4. *Shutdown Maintenance*

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

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 (Ansori, 2013):

1. Menghindari terjadinya kerusakan.
2. Mendeteksi awal terjadinya kerusakan.
3. Menemukan kerusakan yang tersembunyi.
4. Mengurangi waktu menganggur.
5. Menaikkan ketersediaan (*availability*) untuk produksi.
6. Pengurangan penggantian suku cadang, sehingga membantu pengendalian persediaan.
7. Meningkatkan efisiensi mesin.
8. Memberikan pengendalian anggaran dan biaya yang diandalkan.
9. Memberikan informasi untuk pertimbangan penggantian mesin.

2.3.2.3 Pemeliharaan Perbaikan (*Predictive Maintenance*)

Predictive maintenance adalah pemeliharaan pencegahan yang diarahkan untuk mencegah kegagalan (*failure*) suatu sarana, dan dilaksanakan dengan memeriksa mesin-mesin tersebut pada selang waktu yang teratur dan ditentukan sebelumnya, pelaksanaan tingkat reparasi selanjutnya tergantung pada apa yang ditemukan selama pemeriksaan (Hasriyono, 2009).

Bentuk pemeliharaan terencana yang paling maju ini disebut pemeliharaan prediktif dan merupakan teknik penggantian komponen pada waktu yang sudah ditentukan sebelum terjadi kerusakan, baik berupa kerusakan total ataupun titik dimana pengurangan mutu telah menyebabkan mesin bekerja dibawah standar yang ditetapkan oleh pemakainya. Bagaimana baiknya suatu mesin dirancang, tidak bisa dihindari lagi pasti terjadi sejumlah keausan dan memburuknya kualitas mesin. Sesudah mengoptimalkan desain untuk mesin dengan metode perancangan-pengurangan pemeliharaan, tetap saja kita masih mengetahui bahwa bagian-bagian mesin akan haus, berkurang kualitasnya dan akhirnya rusak dengan tingkat yang dapat diramalkan jika dipakai pada kondisi penggunaan normal konstan (Hasriyono, 2009).

2.3.2.4 Pemeliharaan Tak Terencana (*Unplanned Maintenance*)

Pada *unplanned maintenance* hanya ada satu jenis pemeliharaan yang dapat dilakukan yaitu *emergency maintenance*. *Emergency maintenance* adalah pemeliharaan yang dilakukan seketika mesin mengalami kerusakan yang tidak terdeteksi sebelumnya (tak terduga). *Emergency maintenance* dilakukan untuk mencegah akibat serius yang akan terjadi jika tidak dilakukan penanganan segera. Adanya berbagai jenis pemeliharaan di atas diharapkan dapat menjadi *alternatif* untuk melakukan pemeliharaan sesuai dengan kondisi yang dialami perusahaan. Sebaiknya pemeliharaan yang baik adalah pemeliharaan yang tidak mengganggu jadwal produksi atau dijadwalkan sebelum kerusakan mesin terjadi sehingga tidak mengganggu produktivitasnya mesin (Hasriyono, 2009).

2.3.2.5 Perawatan Mandiri (*Autonomous Maintenance*)

Perawatan mandiri adalah kegiatan yang dirancang untuk melibatkan operator dengan sasaran utama untuk mengembangkan pola hubungan antara manusia, mesin dan tempat kerja yang bermutu. Perawatan mandiri ini juga dirancang untuk melibatkan operator dalam merawat mesinnya sendiri. Kegiatan tersebut seperti pembersihan, pelumasan, pengencangan mur atau baut, pengecekan harian, pendekripsi penyimpangan dan reparasi sederhana. Tujuan dari kegiatan ini adalah untuk mengembangkan operator yang mampu mendekripsi



berbagai sinyal dari kerugian (*loss*). Selain itu juga bertujuan untuk menciptakan tempat kerja yang rapi dan bersih, sehingga setiap penyimpangan dari kondisi normal dapat dideteksi dalam waktu sekejap. Dalam perawatan mandiri ada 5 langkah, yaitu (Hasriyono, 2009):

1. Pembersihan awal

Kegiatan yang dilakukan dalam langkah ini adalah:

- a. Menyingkirkan item yang tidak diperlukan dan jarang digunakan, yang dapat mengganggu kinerja alat dan mengurangi kualitas.
- b. Menghilangkan debu dan kotoran dari peralatan dan sekelilingnya.
- c. Mengenali pengaruh kontaminasi yang membahayakan keselamatan kerja kualitas dan peralatan.
- d. Mengungkapkan permasalahan, seperti kerusakan kecil, sumber kontaminasi, dan area yang sulit dibersihkan.
- e. Mengamati dan memperbaiki kerusakan pada peralatan.

2. Pencegahan sumber kontaminasi dan tempat yang sulit dibersihkan

Kegiatan yang dilakukan dalam langkah ini adalah:

- a. Mengendalikan dan melihat berbagai sumber kontaminasi dan bagian-bagian yang sulit dibersihkan yang telah didaftar dan dikaitkan dengan pengaruhnya terhadap keselamatan kerja, kualitas, dan peralatan
- b. Mengambil langkah-langkah untuk perbaikan dalam rangka menyelesaikan pembersihan peralatan dalam waktu yang telah ditentukan.
- c. Mempelajari tentang keselamatan kerja dan kualitas, dan prinsip proses produksi melalui tindakan-tindakan perbaikan terhadap sumber-sumber kontaminasi.

3. Pengembangan standar pembersihan dan pelumasan

Kegiatan yang dilakukan dalam langkah ini adalah:

- a. Mengadakan program pendidikan untuk pelumasan kepada operator.
- b. Mengembangkan inspeksi pelumasan secara menyeluruh.
- c. Memeriksa semua titik dan permukaan lokasi pelumasan.
- d. Mengamati dan memperbaiki bagian-bagian yang rusak pada peralatan yang berkaitan dengan pelumasan.

- e. Meningkatkan metode kerja dan peralatan supaya dapat menyelesaikan pelumasan atau pembersihan dalam waktu yang telah ditentukan.
4. Inspeksi menyeluruh
Kegiatan yang dilakukan dalam langkah ini adalah:
 - a. Melaksanakan pendidikan dan pelatihan untuk setiap kategori, seperti *electrical, power transmission*, dan lain-lain.
 - b. Menciptakan inspeksi menyeluruh pada bagian-bagian yang rusak.
5. Pengembangan standar perawatan mandiri ini adalah:
 - a. Menetapkan *standard* dan jadwal perawatan mandiri untuk menyelesaikannya.
 - b. Membersihkan, melumasi dan menginspeksi peralatan.
 - c. Meningkatkan metode kerja dan peralatan supaya dapat menyelesaikan rutinitas pembersihan, pelumasan dan inspeksi dalam waktu yang telah ditentukan.
6. Pelaksanaan perawatan mandiri dan kegiatan peningkatan berkesinambungan.

2.3.3 Sistem Perawatan

Agar dapat menjalankan fungsinya dengan baik, sistem perawatan harus memiliki respons yang baik terhadap kerusakan-kerusakan yang akan muncul maupun kapasitas kerja yang memadai untuk menangani kerusakan yang telah terjadi. Untuk kepentingan ini maka sistem perawatan harus memiliki dan menjalankan fungsi dari beberapa hal berikut ini (Nasution, 2006):

1. Variabel-variable keputusan

Ada 4 variabel keputusan dalam penetuan kebijaksaan perawatan, yaitu:

- a. *What*, menyatakan apa yang harus dirawat

Dalam proses produksi yang sederhana, penentuan komponen atau fasiitas apa yang harus mendapat prioritas perawatan akan mudah ditentukan

- b. *How*, menyatakan bagaimana perawatan harus dilaksanakan.

Bagaimana disini mengacu pada cara apa yang paling tepat untuk dilaksanakan, bukan pada kelengkapan atau kecanggihan peralatan yang dimiliki.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak mengikuti kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Terdapat 3 (tiga) cara yang umum dipakai:

- 1) Inspeksi, kegiatan pemeriksaan yang dimaksudkan untuk menetukan kondisi operasi sebuah komponen atau fasilitas baik secara visual atau dengan sebuah pengukuran tertentu.
- 2) Perawatan korektif (*repair*), kegiatan perawatan yang dilakukan bila sebuah komponen atau fasilitas mengalami kerusakan dan tidak mungkin diganti.
- 3) Perawatan preventif, kegiatan perawatan yang mencakup inspeksi dan reparasi.

Terdapat dua pertimbangan dalam memilih alternatif mana yang terbaik untuk dilaksanakan:

- 1) Ketersediaan data akurat untuk pola kerusakan komponen atau fasilitas.
- 2) Biaya untuk perawatan preventif, reparasi dan waktu produksi yang hilang.
- c. *Who*, menyatakan siapa yang harus melakukan aktivitas perawatan. Pemilihan terhadap kegiatan perawatan internal atau eksternal didasarkan atas pertimbangan penguasaan teknologi dan frekuensi perawatan.
- d. *When*, menyatakan dimana usaha perawatan dilaksanakan.

Terdapat 2 alternatif umum, yaitu sentralisasi dan desentralisasi. Faktor-faktor yang menjadi pertimbangan pilihan diatas adalah:

- 1) Frekuensi perawatan
- 2) Spesialisasi keahlian
- 3) Prioritas perawatan
- 4) Alokasi waktu perawatan

Perawatan sentralisasi mengakibatkan tingkat utilitas tenaga dan fasilitas perawatan menjadi lebih tinggi tetapi membutuhkan alokasi waktu perawatan yang lebih besar sehingga waktu kerusakan yang dialami komponen atau fasilitas akan lebih lama. Keadaan sebaliknya akan terjadi pada perawatan desentralisasi.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak mengikuti kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

Hak Cipta milik UIN Suska Riau

2. Kriteria kinerja

Seperti sistem kontrol pada umumnya, sistem perawatan bertujuan memperlancar operasi proses produksi sehingga dapat mencapai penghematan ekonomi. Pemilihan alternatif yang optimal didasarkan atas minimasi biaya total yang ditandai dengan titik ekstrem kelengkungan kurva.

3. Batasan

Sejumlah alternatif yang tersedia dalam aktivitas *maintenance* dibatasi oleh beberapa hal. Alternatif yang memiliki waktu pelaksanaan jangka panjang (*what, who, where*) dibatasi oleh perancangan sistem dalam hal proses teknologi, *layout* dan kapasitas, yaitu tentang ukuran grup perawatan dan fasilitas yang terlibat.

4. Masukan

Masukan sistem perawatan adalah data tentang komponen dan fasilitas proses produksi dan data tentang perawatan yang telah dilakukan.

5. Keluaran

Dalam kondisi operasi normal, sistem perawatan menghasilkan:

a. Jadwal aktivitas untuk:

- 1) Inspeksi status komponen atau fasilitas.
- 2) Reparasi komponen atau fasilitas yang mengalami kerusakan.
- 3) Perawatan preventif untuk komponen kritis.

b. Laporan yang mencakup:

- 1) Status komponen atau fasilitas setelah inspeksi, reparasi atau perawatan preventif.
- 2) Perencanaan kebutuhan suku cadang.
- 3) Perencanaan kebutuhan kapasitas perawatan dalam satuan *mahour* (jam-orang).

2.3.4 Tugas dan Kegiatan Perawatan

Semua tugas dan kegiatan pemeliharaan atau perawatan dapat digolongkan ke dalam salah satu dari lima tugas pokok, yaitu (Prihantoro, 2012):



1. Hak cipta milik UIN Suska Riau

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak mengikuti kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

1. Hak cipta milik UIN Suska Riau

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak mengikuti kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

1. Inspeksi (*Inspection*)

Kegiatan inpeksi meliputi kegiatan pengeekan atau pemeriksaan secara berkala (*routine schedule check*) bangunan dan peralatan pabrik sesuai dengan rencana serta kegiatan pengecekan atau pemeriksaan terhadap peralatan yang mengalami kerusakan dan membuat laporan hasil pengecekan dan pemeriksaan tersebut. Hasil laporan inspeksi harus memuat keadaan peralatan yang diinspeksi, sebab terjadinya kerusakan (bila ada), usaha perbaikan yang telah dilakukan dan saran perbaikan atau penggantian yang diperlukan.

2. Kegiatan teknik (*Engineering*)

Kegiatan teknik meliputi kegiatan percobaan peralatan yang baru dibeli, pengembangan peralatan atau komponen yang perlu diganti serta melakuakan penelitian terhadap kemungkinan pengembangan tersebut.

3. Kegiatan produksi (*Production*)

Kegiatan produksi merupakan kegiatan pemeliharaan yang sebenarnya, yaitu memperbaiki dan mereparasi mesin-mesin dan peralatan. Secara fisik, melaksanakan pekerjaan yang disarankan dalam kegiatan inspeksi dn teknik, melaksanakan *service* dan pelumasan. Kegiatan produksi ini dimaksudkan agar kegiatan produksi dalam pabrik dapat berjalan lancar sesuai dengan rencana.

4. Pekerjaan administrasi (*Clerical Work*)

Pekerjaan administrasi ini merupakan kegiatan yang berhubungan dengan administrasi kegiatan pemeliharaan yang menjamin adanya kegiatan catatan-catatan mengenai kegiatan atau keadian-kejadian yang penting dari bagian pemeliharaan.

5. Pemeliharaan bangunan (*House Keeping*)

Kegiatan pemeliharaan bangunan merupakan kegiatan untuk menjaga agar bangunan tetap terpelihara dan terjamin kebersihannya.

2.3.5 Permasalahan Dalam Perawatan

Fungsi utama dari perawatan adalah untuk mengendalikan kondisi dari peralatan dan mesin. Manajemen perawatan berupaya untuk menjawab beberapa permasalahan yang dihadapi oleh industri dalam melakukan aktivitas prosesnya. Untuk memecahkan masalah yang dihadapi, terkadang para pengambil keputusan, dinadapkan pada alternatif solusi yang harus diambil. Setiap alternatif memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing sehingga sulit untuk menentukan alternatif manakah yang merupakan solusi optimal. Adapun permasalahan yang dihadapi, antara lain (Kurniawan, 2013):

1. Pembentukan organisasi perawatan.
2. Pembagian tugas perawatan dan perencanaan tugas perawatan.
3. Frekuensi inspeksi dan ruang lingkup inspeksi.
4. Pengambilan keputusan perbaikan, perbaikan menyeluruh dan penggantian (*repair, overhaul and replacement*).
5. Kebijakan *breakdown maintenance*.
6. Peraturan penggantian komponen.
7. Investasi pengembangan teknologi untuk mengganti fasilitas.
8. Reliabilitas (keandalan mesin dan perangkat produksi).
9. Jumlah tim perawatan.
10. Komposisi mesin dalam lini produksi.
11. Penjadwalan dalam melakukan aktivitas perawatan.

2.3.6 Strategi Perawatan

Filosofi perawatan untuk fasilitas produksi pada dasarnya adalah menjaga level maksimum konsistensi optimasi produksi dan availabilitas tanpa mengesampingkan keselamatan. Untuk mencari filosofi tersebut digunakan strategi perawatan. Proses perawatan mesin yang dilakukan oleh suatu perusahaan pada umumnya terbagi dalam dua bagian yaitu perawatan terencana dan perawatan tidak terencana. Strategi dalam perawatan adalah sebagai berikut (Ansori, 2013):

1. Penggantian

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. Perawatan peluang

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.

3. Perbaikan

Merupakan pengujian secara menyeluruh dan perbaikan 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

Merupakan perawatan yang dilakukan secara terencana untuk mencegah terjadinya potensi kerusakan.

5. Modifikasi desain

Perawatan dilakukan pada sebagian kecil peralatan sampai pada kondisi yang dapat diterima dengan melakukan perbaikan pada tahap pembuatan dan penambahan kapasitas.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak mengikuti kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



6. Perawatan koreksi
Perawatan ini dilakukan setelah terjadinya kerusakan, sehingga merupakan bagian dari perawatan yang tidak terencana.
7. Temuan kesalahan
Merupakan tindakan perawatan dalam bentuk inspeksi untuk mengetahui tingkat kerusakan.
8. Perawatan berbasis kondisi
Perawatan berbasis kondisi dilakukan dengan cara memantau kondisi parameter kunci peralatan yang akan mempengaruhi kondisi peralatan.
9. Perawatan penghentian
Kegiatan perawatan ini hanya dilakukan sewaktu fasilitas produksi sengaja dihentikan.

2.3.7 Teknik Perawatan Mesin

Menurut Jamasri (2005, dikutip oleh Jiwantoro, 2013), beberapa teknik pemeliharaan yang telah banyak digunakan diberbagai industri termasuk industri proses adalah sebagai berikut:

1. Pemeliharaan reaktif (*breakdown* atau *reactive maintenance*)
Teknik pemeliharaan ini berorientasi pada perbaikan kerusakan yang telah terjadi dan paling banyak dipergunakan karena cukup sederhana, fleksibel, dan murah terutama untuk mesin-mesin dan peralatan non-kritis bagi produksi.
2. Pemeliharaan korektif (*corrective maintenance*)
Teknik pemeliharaan ini bertujuan untuk memperbaiki performansi dan kondisi awal dari pabrik pembuatnya. Hal ini dilakukan dengan melakukan modifikasi pada desain awal peralatan.
3. Pemeliharaan preventif (*preventive maintenance*)
Teknik pemeliharaan ini bertujuan untuk memperkecil variasi kerusakan mesin per satuan waktu tertentu, menghindarkan kerusakan yang mendadak, dan memaksimumkan umur peralatan. Tujuan ini dicapai dengan melakukan

2.3.8 Pemahaman Istilah Perawatan

Pelaksanaan perawatan industri membutuhkan komunikasi yang jelas diantara konseptor dengan pelaksana perawatan. Terdapat beberapa istilah perawatan yang seringkali kita dengar dan perlu kiranya dipahami secara detail, antara lain (Kurniawan, 2013):

1. *Inspection* (Inspeksi)

Inspeksi adalah aktivitas pengecekan untuk mengetahui keberadaan atau kondisi dari fasilitas produksi. Inspeksi biasanya berupa aktivitas yang memburuhkan panca indera dan analisis yang kuat dari setiap pelaksana, bahkan ada pula yang melakukannya dengan menggunakan alat bantu. sehingga kesimpulan yang dihasilkan dapat lebih mendekati kondisi nyata (akurat).

2. *Repair* (perbaikan)

Repair adalah akrivitas yang dilakukan untuk mengembalikan kondisi mesin yang mengalami gangguan, sehingga dapat beroperasi seperti sebelum terjadi gangguan tersebut, dimana prosesnya hanya dilakukan untuk perbaikan yang sifamya kecil (perbaikan setempat). Biasanya *repair* tidak terlalu banyak mengganggu kominutas proses produksi.

3. *Overhaul* (perbaikan menyeluruh)

Overhaul adalah aktivitas perbaikan menyeluruh. Aktivitas ini memiliki makna yang sama dengan *repair* hanya saja ruang lingkupnya lebih besar. Perawatan ini dilakukan apabila kondisi mesin (fasilitas) berada dalam keadaan rusak parah, sementara kemampuan untuk mengganti dengan yang baru tidak ada. *Overhaul*, biasanya dapat mengganggu kegiatan produksi dan memburuhkan biaya yang besar. Contoh kegiatan, misalnya turun mesin pada mobil, dilakukan jika kondisi mesin rusak parah.

4. *Replacement* (penggantian)

Replacement adalah aktivitas penggantian mesin. Biasanya mesin yang memiliki kondisi yang lebih baik akan menggantikan mesin sebelumnya. *Replacement* dilakukan jika kondisi alat sudah tidak memungkinkan lagi unruk beroperasi, atau sudah melewati umur ekonomis penggunaan. *Replacement* membutuhkan investasi yang besar bagi perusahaan, sehingga alternatif ini, biasanya menjadi pilihan terakhir, setelah *repair* dan *overhaul*.

2.3.9 Model Perawatan Sebagai Pendukung Aktivitas Produksi

Manajemen perawatan akan dapat bekerja secara optimal, apabila mampu menghasilkan uraian kegiatan, program dan peraturan pelaksanaan. Oleh sebab itu, perlu disusun adanya program perawatan, sehingga pelaksanaannya dapat terstruktur (Kurniawan, 2013).

Mengingat peningkatan produksi yang semakin kompleks dan peralatan yang bertambah canggih. Maka diperlukan program perawatan unruk menjaga sistem kesiapan sarana produksi yang berupa peralatan dan mesin sehingga proses

transformasi bahan baku menjadi produk dapat berjalan dengan baik serta menghasilkan *output* yang berkualitas.

2.4 Sejarah *Total Productive Maintenance* (TPM)

Sistem TPM merupakan sistem Jepang yang unik dari suatu kepakaran manajerial, telah diciptakan pada tahun 1971, berdasarkan konsep pemeliharaan pencegahan atau pemeliharaan mandiri (*productive maintenance*) yang telah diperkenalkan dari Amerika Serikat pada tahun 1950-an sampai tahun 1960-an. Pada tahun 1970-an sampai 1980-an, TPM secara bertahap telah dikembangkan sebagai suatu pencapaian berhasil, akhirnya secara luas diakui. TPM kini telah menembus seluruh struktur perusahaan di setiap lini usaha dan di semua bagian dunia, serta hal ini telah terbukti dengan adanya peningkatan yang tajam dalam jumlah perusahaan yang telah menerima penghargaan PM berdasarkan atas TPM, dengan pergeseran dari TPM sektor produksi menjadi TPM seluruh perusahaan, dan bertambahnya jumlah negara yang mempraktekkan TPM (Ginting, 2007).

Sejarah singkat perkembangan TPM dibagi dalam 4 periode, yaitu:, sebelum tahun 1950-an bersifat perbaikan. Era tahun 1950 bersifat pemeliharaan pencegahan. Periode ini merupakan tahap penyusunan dari berbagai fungsi-fungsi pemeliharaan. Selain pemeliharaan pencegahan, pada era ini juga dikenal pemeliharaan pencegahan tahun 1954, pemeliharaan produktifitas atau mandiri tahun 1954, dan pemeliharaan perbaikan tahun 1957. Era tahun 1960 di Amerika Serikat, bersifat pemeliharaan produksi. Periode ini merupakan reorganisasi pentingnya keandalan pemeliharaan dan efisiensi. Pada awalnya, Jepang belajar pemeliharaan produktifitas dari Amerika, lalu digabungkan dengan kebudayaan Jepang (kerja tim), maka timbul TPM dengan Group AKK-nya (Ginting, 2007).

TPM merupakan pencapaian efisiensi pemeliharaan mandiri melalui satu sistem yang lengkap berdasarkan keikutsertaan seluruh karyawan. Selain itu, TPM gabungan dari beberapa ilmu tingkah laku (manusia dan mesin), rekayasa sistem, ekologi (perubahan mesin) dan logistik. TPM dirancang untuk mencegah terjadinya suatu kerugian karena penghentian kerja yang disebabkan oleh kegagalan dan penyesuaian, kerugian kecepatan yang diakibatkan dari

penghentian minor dan pengurangan kecepatan, dan kerugian karena cacat yang disebabkan oleh cacat dalam proses dimulainya dan penurunan hasil dengan meningkatkan metode manufaktur dengan penggunaan dan pemeliharaan perlengkapan (Ginting, 2007).

2.5 Definisi *Total Productive Maintenance* (TPM)

Menurut Nakajima (1988 dikutip oleh Sukwadi, 2007) *TPM (Total Productive Maintenance)* adalah suatu program untuk pengembangan fundamental dari fungsi pemeliharaan dalam suatu organisasi, yang melibatkan seluruh SDM-nya. Jika di implementasikan secara penuh. TPM secara dramatis meningkat produktivitas dan kualitas, dan menurunkan biaya. TPM merupakan pemeliharaan produktif yang dilaksanakan oleh seluruh karyawan melalui aktivitas kelompok kecil yang terencana.

TPM adalah suatu metode yang bertujuan untuk memaksimalkan efisiensi penggunaan peralatan dan memantapkan sistem perawatan preventif yang dirancang untuk keseluruhan peralatan dengan mengimplementasikan suatu aturan dan memberikan motivasi kepada seluruh bagian yang berada dalam suatu perusahaan tersebut, melalui peningkatan kompensasi dari seluruh anggota yang terlibat mulai dari manajemen puncak sampai kepada level terendah. Selain itu juga TPM bertujuan untuk menghindari perbaikan secara tiba-tiba dan meminimasi perawatan yang tidak terjadwal (Kurniawan, 2013).

Dalam TPM operator mesin bertanggung jawab untuk pemeliharaan mesin, disamping operasinya. Implementasi TPM dapat mewujudkan penghematan biaya yang cukup besar melalui peningkatan produktivitas mesin. Semakin besar derajat otomatisasi pabrik, semakin besar pengurangan biaya yang di wujudkan oleh TPM. Hal di atas tercermin dari definisi dari TPM itu sendiri. total berarti melibatkan seluruh karyawan dalam organisasi dengan sasaran mengeliminasi semua kecelakaan, *defects* dan *breakdowns*. *Productive* berarti segala tindakan dilaksanakan pada saat produksi berjalan dengan sasaran segala masalah untuk produksi diminimalkan. *Maintenance* berarti menjaga peralatan atau mesin produksi dalam kondisi baik dengan selalu melakukan perbaikan,

membersihkan dan melumasi. TPM merupakan suatu aspek yang terus menerus melibatkan faktor manusia dan biaya untuk optimalisasi perusahaan (Sukwadi, 2007).

Dengan demikian TPM merupakan suatu proses untuk memaksimumkan produktivitas peralatan dan mesin sepanjang masa pakai peralatan dan mesin itu. Sasaran TPM adalah memaksimalkan *overall equipment effectiveness* untuk menurunkan *downtime* yang tidak terencana (*unplaced equipment downtime*), sehingga kapasitas peralatan itu meningkat dan biaya menurun. Penciptaan suatu lingkungan kerja tempat peningkatan *quality cost, delivery, safety* dan *morale* secara terus-menerus melalui partisipasi aktif semua karyawan dan manajemen merupakan langkah menuju TPM (Gaspersz, 2006).

2.6 Manfaat *Total Productive Maintenance* (TPM)

TPM diperlukan untuk mengatasi *six big losses* dalam proses produksi produksi memiliki daya tahan yang optimal. Beberapa hal yang berhubungan dengan TPM untuk mengoptimalkan daya tahan peralatan produksi yaitu (Sukwadi, 2007):

1. TPM dilakukan untuk mengembalikan kondisi peralatan produksi pada keadaan yang optimal untuk dipakai dalam proses produksi.
2. TPM diperlukan untuk meningkatkan keterlibatan operator dalam pemeliharaan peralatan produksi.
3. TPM diperlukan untuk meningkatkan efektivitas dan efisiensi proses pemeliharaan.
4. TPM di perlukan untuk melatih para karyawan untuk meningkatkan keahlian kerja mereka
5. TPM diperlukan untuk melakukan manajemen pemeliharaan alat dan tindakan pencegahan terhadap kerusakan peralatan produksi.
6. TPM di perlukan untuk pemakaian yang efektif dan teknologi pemeliharaan peralatan produksi.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh J.Wayne Patterson, et al., *total productive maintenance*, bertujuan untuk mendapatkan keuntungan besar dengan

menggunakan korelasi yang erat antara kualitas produk dengan perawatan mesin produktif secara prediktif. Tujuan dari TPM adalah untuk melibatkan semua sektor termasuk produksi, pengembangan, administrasi serta semua pegawai dari manajemen senior hingga operator dan staff administrasi. Kebijakan TPM perusahaan adalah mencapai status kelas dunia melalui pemberdayaan dan peningkatan tenaga kerja menyeluruh yang terlibat dalam TPM (Sukwadi, 2007).

2.7 Konsep 8 Pilar *Total Productive Maintenance (TPM)*

TPM mengarahkan kepada perencanaan yang baik, pengorganisasian, pengawasan dan pengendalian melalui metode yang melibatkan pendekatan kedelapan pilar seperti yang disarankan oleh *Japan Institute of Plant Maintenance*–JIPM (Mahdina, 2013). Rekomendasi perbaikan yang diusulkan dalam penelitian ini didasarkan pada konsep delapan pilar TPM sebagai berikut:

1. 5S

5S merupakan implementasi manajerial perawatan terhadap stasiun kerja yang bersifat menyeluruh dan sistematik. Penerapan 5S diperusahaan akan berdampak secara langsung terhadap keselamatan kerja, efisiensi, efektivitas kerja dan peningkatan produktivitas (Kurniawan, 2013).

Menurut Jones, sebelum penerapan TPM dilakukan dalam suatu perusahaan, perusahaan tersebut harus sudah memenuhi kondisi 5S. Kondisi 5S tersebut adalah (Sukwadi, 2007):

1) Seiri (*sorting out*)

Artinya ringkas atau pemilahan, yaitu pemilahan barang menjadi tiga kategori (diperlukan, tidak diperlukan, ragu-ragu), tidak ada barang yang tidak diperlukan berada di area kerja, tidak ada barang yang berlebih jumlahnya.

2) Seiton (*arranging efficiently*)

Artinya rapi atau penataan, yaitu mengatur barang-barang yang diperlukan dengan susunan yang tepat sehingga mudah ditemukan pada saat diperlukan dan mudah dikembalikan, setiap barang yang masih diperlukan dalam pekerjaan tersedia di tempatnya dan jelas status keberadaannya,

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak mengikuti kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

setiap barang dan tempat penyimpanannya memiliki tanda atau identitas yang distandardkan, setiap orang mematuhi aturan penyimpanan dan ada mekanisme pemastiannya.

3) Seiso (*checking through cleaning*)

Artinya resik atau pembersihan, yaitu membersihkan sambil memeriksa, menghilangkan sumber penyebab kotor, mengupayakan kondisi optimum.

4) Seiketsu (*neatness*)

Artinya rawat atau pemantapan, yaitu melaksanakan standarisasi di tempat kerja, mempertahankan kondisi optimum, mewujudkan tempat kerja yang bebas kesalahan.

5) Shitsuke (*discipline*)

Artinya rajin atau disiplin, yaitu terbiasa merawat ringkas, rapi, resik, terbiasa melaksanakan standar kerja, mengembangkan kebiasaan positif seperti taat aturan, tepat janji dan tepat waktu serta tidak membuang sampah sembarangan.

2. Autonomous Maintenance (Pemeliharaan Otonomi)

Pemeliharaan otonom (*autonomous maintenance*) membutuhkan keterlibatan proaktif dari operator peralatan untuk menghilangkan percepatan kerusakan peralatan, yaitu lewat pembersihan, pengawasan, pengumpulan data dan melaporkan kondisi serta masalah peralatan kepada *staff maintenance*. Lebih jauh operator harus berupaya untuk mengembangkan sebuah pemahaman yang lebih dalam tentang peralatan sehingga akan meningkatkan keahlian operasionalnya. Pemeliharaan otonomi merupakan kegiatan yang dirancang untuk melibatkan operator dengan sasaran utama untuk mengembangkan pola hubungan antar manusia, mesin dan tempat kerja yang bermutu. Tujuannya adalah mengembangkan operator yang mampu mendeteksi berbagai sinyal dari kerugian (*loss*) (Ansori, 2013).

3. Kaizen

Pada dasarnya kaizen adalah perbaikan kecil (*small improvements*), tetapi dilaksanakan pada suatu basis berkesinambungan dan melibatkan semua orang di dalam organisasi dengan tujuan untuk kepuasan pelanggan.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak mengikuti kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Berdasarkan definisi tersebut, maka dapat dikatakan bahwa kaizen lebih menitikberatkan pada proses (*process oriented*) bukan pada hasil akhir karena dengan demikian perbaikan atau pembaharuan dapat dilakukan secara terus-menerus dan melibatkan seluruh pihak didalam organisasi (Ansori, 2013).

Inti kaizen sederhana sekali dan langsung pada sasaran. Kaizen berarti penyempurnaan. Disamping itu kaizen berarti penyempurnaan berkesinambungan yang setiap orang baik manajer maupun karyawan. Filsafat kaizen menganggap bahwa cara hidup kita baik cara kerja, kehidupan sosial maupun kehidupan rumah tangga perlu disempurnakan setiap saat (Imai, 1992).

4. *Planned Maintenance* (Pemeliharaan Terencana)

Planned maintenance adalah pemeliharaan yang diorganisasi dan dilakukan dengan pemikiran jauh kedepan yang menyangkut juga masalah pengendalian dan pencacatan sesuai dengan rencana yang telah ditentukan yang diharapkan dapat menjamin ketelitian peralatan produksi, sehingga tujuan yang diinginkan dapat dicapai (Ansori, 2013).

5. *Quality Maintenance* (Pemeliharaan Berkualitas)

Aktivitas *quality maintenance* ditujukan untuk merencanakan sistem pemeliharaan yang menyediakan produk berkualitas tinggi dan bebas dari cacat. Nilai-nilai yang didapatkan dari *quality maintenance* adalah dapat meramalkan berbagai kemungkinan cacat yang terjadi dan selanjutnya memperbaiki untuk mencegah kemungkinan tersebut. Target yang ingin dicapai adalah mengurangi keluhan konsumen, mengurangi kerusakan proses dan mengurangi biaya kualitas (Ansori, 2013).

6. *Training* (Pelatihan)

Komponen ini mendukung semua komponen TPM lain dengan memastikan bahwa pegawai memiliki pengetahuan dan keahlian yang dibutuhkan untuk menjalankan tugas terkait TPM. Selain itu komponen ini diarahkan untuk mempunyai karyawan dengan berbagai kemampuan dan memiliki moral yang tinggi, yang mempunyai semangat untuk datang bekerja dan melaksanakan semua fungsi yang diperlukan secara efektif (Ansori, 2013).

7. *Office TPM (Kantor TPM)*

Komponen ini dilakukan setelah menjalankan empat komponen TPM yang diantaranya (*autonomous maintenance, kaizen, planned maintenance and quality maintenance*). Pada dasarnya kantor TPM dilakukan guna meningkatkan produktivitas dan efisiensi di dalam kegiatan administratif yang berfungsi mengidentifikasi dan menghapuskan kerugian untuk mendukung kegiatan operasi manufaktur (Ansori, 2013).

8. *Safety, Health And Environment*

Keamanan, kesehatan dan keselamatan kerja merupakan salah satu komponen dari TPM. Target yang ingin dicapai dalam elemen ini adalah: *zero accident, zero health damage and zero fires* (Ansori, 2013).

2.8 Aktivitas Dasar *Total Productive Maintenance (TPM)*

Inti permasalahan dari TPM adalah merubah dan memperbaiki sikap personil yang semula berkerja terkotak-kotak menjadi sikap berkerja sama (*team work*). Kerja sama dalam memaksimalkan pendayagunaan fasilitas (*maximizing overall equipment effectiveness*) yang diarahkan untuk mengurangi enam jenis pemborosan atau kerugian yang selalu mengurangi pendayagunaan alat yang dikategorikan dalam tiga kelompok yaitu kehilangan waktu (*down time*) meliputi kegagalan (*breakdown*) karena kerusakan alat, gangguan tidak terduga (baik untuk kerusakan alat mendadak atau kerusakan elektrik) dan *set-up and adjustment*, karena adanya perubahan. Kelompok kedua adalah kehilangan kecepatan (*speed loss*) yang meliputi *idle* dan *delay* operasi, peralatan berhenti atau dihentikan karena masalah yang sifatnya sementara dan pengurangan kecepatan, dari perbedaan antara rencana dan kecepatan aktual peralatan. Kelompok terakhir cacat (*defect*) yang meliputi produk cacat atau rusak yang memerlukan perbaikan dan penurunan *field* selama *start-up*, karena ada penyetelan-penyetelan sampai kondisi stabil. Inti dari kegiatan ini adalah pencegahan memburuknya peralatan.

Dalam hal ini di lakukan dengan cara (Suhendar, 2010):

- Pengoperasian peralatan secara baik dan benar.
- Membuat standar operasi prosedur dalam menjalankan mesin.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak mengikuti kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

- c. Memelihara kondisi peralatan (pembersihan, pemeriksaan harian, pelumasan dan pengencangan baut).
- d. Penyetelan yang benar.
- e. Mencatat data-data kerusakan dan gangguan-gangguan yang terjadi.

Selain itu operator diminta melakukan pemeriksaan rutin tertentu, inspeksi harian serta melaporkan kejanggalan-kejanggalan yang diketahui secara dini. Operator juga di berikan kewenangan untuk melakukan perbaikan-perbaikan maupun penggantian komponen atau *part* yang sederhana, serta di berikan kesempatan untuk ikut serta membantu pihak *maintenance* dalam perbaikan-perbaikan mendadak (Suhendar, 2010).

TPM lebih terikat langsung dengan bagian produksi, sedangkan bagian *maintenance* berfungsi sebagai pendukung. *One-piece flow with zero defects* yang membutuhkan kapabilitas proses yang sangat tinggi, bersama dengan *error proofing* atau pokayoke (anti kesalahan), memungkinkan kita untuk melakukan reduksi atau eliminasi inspeksi yang tentu saja akan menurunkan biaya produk secara terus-menerus. Apabila variasi proses direduksi maka variasi itu akan meningkatkan kapabilitas proses. Dalam hal ini bagian operasi dan *maintenance* harus terlibat aktif untuk mencegah penurunan indeks kapabilitas proses sehingga mampu memaksimumkan *overall equipment effectiveness* (Gaspersz, 2006).

2.9 Faktor-Faktor Penghambat *Total Productive Maintenance* (TPM)

Faktor-faktor penghambat ini merupakan titik tolak analisis untuk perbaikan *system maintenance* menuju usulan penerapan TPM. Beberapa faktor yang dapat menghambat pelaksanaan TPM yaitu (Suhendar, 2010):

1. Faktor sumber daya manusia

Dalam membangun suatu sistem baru selalu dibutuhkan *engineer* parancang sistem baru tersebut. *Engineer* tersebut paling tidak pernah melihat dan mempelajari sistem yang akan dibuatnya. Pada HSPP *engineer* dengan kualifikasi seperti diatas sangat kurang sekali, sehingga konsep TPM hanya di mengerti oleh manajemen atas saja, sedangkan manajemen level tengah sebagai ketua pelaksana TPM hanya sedikit mengerti mengenai TPM.

2. Faktor-faktor metode kerja

Terbatasnya peralatan untuk pelaksanaan “*condition based maintenance*” serta belum adanya sistem kerja untuk fasilitas pelaksanaannya. Tidak adanya revisi standar kerja yang didokumentasikan untuk menjadi standar kerja baru perawatan sehingga personal perawatan maupun operator (AM) melakukan prosedur kerja menurut implementasinya masing-masing.

3. Faktor peralatan atau mesin

Banyaknya mesin-mesin yang mempunyai struktur yang rumit, mengakibatkan kesulitan dalam melaksanakan perawatan yang paling mendasar (*cleaning, lubricating* dan *righening*)

4. Faktor material

Material pendukung untuk kelancaran program TPM adalah dengan tersedia *part*. Dengan mesin yang serba canggih, kesulitan lain yang dihadapkan adalah masalah *spare part* yang harus di impor dari negara pembuatnya.

2.10 *Overall Equipment Effectiveness (OEE)*

OEE merupakan efektivitas peralatan secara keseluruhan untuk mengevaluasi seberapa *performance* peralatan. OEE juga digunakan sebagai kesempatan untuk memperbaiki produktivitas sebuah perusahaan yang pada akhirnya digunakan sebagai langkah pengambilan keputusan. OEE merupakan metode yang digunakan sebagai alat ukur dalam penerapan program TPM guna menjaga peralatan pada kondisi ideal dengan menghapuskan *six big losses* peralatan (Jiwantoro, 2013).

Rumus dalam menghitung nilai OEE adalah sebagai berikut:

$$OEE = A \times P \times Q \times 100\% \quad \dots\dots(2.1)$$

Dimana : A = *Availability time* (waktu ketersediaan mesin atau peralatan).

P = *Performance effectiveness Efficiency ratio*

Q = *Rate of quality product*

OEE merupakan produk dari *six big losses* pada mesin atau peralatan. Keenam faktor dalam *six big losses* dapat dikelompokkan menjadi tiga komponen utama dalam OEE untuk dapat digunakan dalam mengukur kinerja peralatan atau

mesin yakni: *downtime losses*, *speed losses* dan *defect losses*. Pengukuran OEE sangat penting untuk mengetahui area mana yang perlu untuk ditingkatkan produktivitas ataupun efisiensi mesin atau peralatan dan juga dapat menunjukkan area *bottleneck* yang terdapat pada lintasan produksi. OEE juga merupakan alat ukur untuk mengevaluasi dan memperbaiki cara yang tepat untuk menjamin peningkatan produktivitas penggunaan mesin (Jiwantoro, 2013).

Keenam faktor adalah *six big losses* harus diikutkan sertakan dalam perhitungan OEE, kemudian kondisi aktualnya dari mesin atau peralatan dapat dilihat secara akurat. Adapun standar dari JIPM (*Japan Institute of Plant Maintenance*) untuk TPM indeks yang *ideal* adalah sebagai berikut (Jono, 2015):

1. Ketersediaan atau *Availability Ratio* (AV) $\geq 90\%$
2. Efektivitas produksi atau *Performance Efficiency Ratio* (PE) $\geq 95\%$
3. Tingkat Kualitas atau *Rate of Quality product* (RQ) $\geq 99\%$
4. Efektifitas keseluruhan peralatan dan mesin atau *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) $\geq 85\%$.

Keenam faktor dapat dikategorikan menjadi tiga macam, yaitu *availability ratio*, *performance efficiency ratio*, dan *total yield (quality rate)*, yaitu (Hasriyono, 2009):

1. *Availability Ratio*

Availability Ratio merupakan suatu *ratio* yang menggambarkan pemanfaatan waktu yang tersedia untuk kegiatan operasi mesin atau peralatan. Dengan demikian rumus yang digunakan untuk mengukur *availability ratio* adalah:

$$\begin{aligned} \text{Availability Ratio} &= \frac{\text{Operation Time}}{\text{Loading Time}} \times 100\% \\ &= \frac{\text{Loading Time} - \text{Downtime}}{\text{Loading Time}} \times 100\% \quad \dots \dots (2.2) \end{aligned}$$

$$\text{Loading Time} = \text{Available Time} - \text{Planned Downtime} \quad \dots \dots (2.3)$$

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak mengikuti kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

a. *Loading time*

merupakan waktu yang tersedia (*available time*) per hari atau perbulan yang dikurang dengan waktu *downtime* mesin yang direncanakan (*planned downtime*).

b. *Operation time* merupakan hasil pengurangan antara *loading time* dengan *downtime* mesin (*non-operation time*). Dengan kata lain, *operation time* adalah waktu operasi yang tersedia setelah waktu-waktu *downtime* mesin dikeluarkan dari *total available time* yang direncanakan.**2. *Performance Efficiency Ratio***

Performance efficiency ratio merupakan suatu *ratio* yang menggambarkan kemampuan dari peralatan dalam menghasilkan barang. Terdapat tiga faktor yang dibutuhkan untuk menghitung *performance efficiency ratio* yaitu:

- a. *Ideal cycle time*
- b. *Processed amount*
- c. *Operation time*

Rumus pengukuran rasio ini adalah:

Performance Efficiency Ratio

$$= \frac{\text{Processed Amount} \times \text{Ideal cycle time}}{\text{Operation Time}} \times 100\% \quad \dots \dots (2.4)$$

Untuk mencari *Ideal Cycle time*:

$$\% \text{ Jam kerja} = 1 - \frac{\text{Total Delay}}{\text{Available Time}} \times 100\% \quad \dots \dots (2.5)$$

Dimana:

$$\text{Waktu Siklus} = \frac{\text{Loading Time}}{\text{Hasil Produksi}} \times 100\% \quad \dots \dots (2.6)$$

Sehingga:

$$\text{Ideal cycle time} = \text{Waktu Siklus} \times \% \text{ Jam Kerja} \quad \dots \dots (2.7)$$

3. *Quality Ratio (Rate of Quality Product)*

Quality ratio merupakan suatu *ratio* yang menggambarkan kemampuan peralatan dalam menghasilkan produk yang sesuai dengan standar. Rumus yang digunakan untuk pengukuran *ratio* ini adalah:

Rate of Quality Product

$$= \frac{\text{Processed Amount} - \text{Defect Amount}}{\text{Processed Amount}} \times 100\% \quad \dots\dots(2.8)$$

2.11 Six Big Losses (Enam Kerugian Besar)

Menurut Nakajima (1984 dikutip oleh Rahmadani, 2014) kegiatan dan tindakan-tindakan yang dilakukan dalam TPM tidak hanya berfokus pada pencegahan terjadinya kerusakan pada mesin atau peralatan dan meminimalkan downtime mesin atau peralatan. Akan tetapi banyak faktor yang dapat menyebabkan kerugian akibat rendahnya efisiensi mesin atau peralatan saja. Rendahnya produktivitas mesin atau peralatan yang menimbulkan kerugian bagi perusahaan sering diakibatkan oleh penggunaan mesin atau peralatan yang tidak efektif dan efisien terdapat enam faktor yang disebut enam kerugian besar (*six big losses*). Menggunakan mesin atau peralatan seefisien mungkin artinya adalah memaksimalkan fungsi dari kinerja atau peralatan produksi dengan tepat guna dan berdaya guna.

Untuk dapat meningkatkan produktivitas mesin atau peralatan yang digunakan maka perlu dilakukan analisis produktivitas dan efisiensi mesin atau peralatan dan *six big losses*. Adapun enam kerugian tersebut, yaitu *equipment failure losses* (kerugian karena kerusakan peralatan), *setup and adjusment losses* (kerugian karena pemasangan dan penyetelan), *idling and minor stoppages losses* (kerugian karena beroperasi tanpa beban maupun karena berhenti sesaat), *reduce speed losses* (kerugian karena penurunan kecepatan operasi), *defect in process losses* (kerugian karena produk cacat) dan *reduce yield losses* (kerugian pada awal waktu produksi) (Rahmadani, 2014).

Analisis OEE menyoroti 6 kerugian utama (*six big losses*) penyebab peralatan produksi tidak beroperasi secara normal. Dari 6 kerugian utama dikelompokkan menjadi 3 yaitu *downtime losses*, *speed losses* dan *quality losses*. Berikut pengelompokan 6 kerugian utama (*six big losses*), yang diantaranya adalah sebagai berikut (Alvira, 2015):

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber;

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak mengikuti kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa Izin UIN Suska Riau.

1. Hak cipta milik UIN Suska Riau

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2. Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

2. Speed Losses

Speed losses adalah suatu keadaan dimana kecepatan proses produksi terganggu, sehingga produksi tidak mencapai tingkat yang diharapkan. *Speed losses* terdiri dari dua macam kerugian, yaitu:

1) *Idle and Minor Stoppage Losses*

Merupakan kerugian yang disebabkan mesin berhenti sesaat. Hal ini disebabkan karena material datang terlambat ke stasiun kerja atau karena adanya pemadaman listrik. Kerugian seperti ini tidak bisa dideteksi secara langsung tanpa adanya pelacak, dan ketika operator tidak dapat memperbaiki pemberhentian yang bersifat *minor stoppage*, maka dapat

1. *Downtime Losses*

Downtime adalah waktu yang terbuang, dimana proses produksi tidak berjalan yang biasanya diakibatkan oleh kerusakan mesin. *Downtime* terdiri dari 2 macam kerugian yaitu:

1) *Equipment Failure Losses*

Merupakan kerugian yang diakibatkan oleh kerusakan mesin dan peralatan. Kerusakan mesin yang sering terjadi adalah mesin mati mendadak sehingga proses produksi terhenti, sedangkan kerusakan peralatan yang sering terjadi adalah peralatan yang mendadak patah leher, mata bor aus, dinamo terbakar, dan *paint belt* sudah longgar. Berikut rumus perhitungan *equipment failure losses* dapat dilihat dibawah ini.

$$\text{Equipment Failure Losses} = \frac{\text{Equipment Failure Time}}{\text{Loading Time}} \times 100 \% \quad \dots \dots (2.9)$$

2) *Setup And Adjusment Losses*

Merupakan kerugian yang terjadi karena setelah *setup* dilakukan, peralatan atau mesin mengalami kerusakan dan dikarenakan adanya waktu yang tercuri waktu *setup* yang lama. Berikut rumus perhitungan *setup and adjusment losses* dapat dilihat dibawah ini.

$$\text{Setup And Adjustmen Losses} = \frac{\text{Setup And Adjustmen Time}}{\text{Loading Time}} \times 100 \% \quad \dots \dots (2.10)$$

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak mengikuti kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

dianggap sebagai *breakdown*. Berikut rumus perhitungan *idle and minor stoppage* dapat dilihat di bawah ini.

Idle and Minor Stoppage Losses

$$= \frac{\text{Non Productive Time}}{\text{Loading Time}} \times 100 \quad \dots \dots (2.11)$$

2) *Reduce Speed Losses*

Merupakan kerugian yang terjadi karena penurunan kecepatan mesin sehingga mesin tidak dapat beroperasi dengan maksimal. Berikut rumus perhitungan *reduced speed losses* dapat dilihat dibawah ini.

Reduce Speed Losses

$$\frac{(\text{Operating Time} - (\text{Ideal Cycle Time} \times \text{Total Produksi}))}{\text{Loading Time}} \times 100\% \quad \dots \dots (2.12)$$

3. *Quality Losses*

Quality Losses adalah suatu keadaan dimana produk yang dihasilkan tidak sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan. *Quality losses* terdiri dari 2 macam, antara lain:

1) *Defect Losses*

Kerugian dikarenakan produk hasil produksi dimana produk tersebut memiliki kekurangan (cacat) setelah keluar dari proses produksi. Berikut rumus perhitungan *defect losses* dapat dilihat dibawah ini.

$$\text{Defect Losses} = \frac{(\text{Defect} \times \text{ideal cycle time})}{\text{Loading Time}} \times 100\% \quad \dots \dots (2.13)$$

2) *Reduced Yield*

Kerugian pada awal waktu produksi hingga mencapai kondisi yang stabil. kerugian yang diakibatkan suatu keadaan dimana produk yang dihasilkan tidak sesuai standar, karena terjadi perbedaan kualitas antara waktu mesin pertama kali dinyalakan pada saat mesin tersebut sudah stabil beroperasi. Berikut rumus perhitungan *reduced yield* dapat dilihat dibawah ini.

$$\text{Reduce Yield} = \frac{\text{Ideal Cycle Time} \times \text{Scrap}}{\text{Loading Time}} \times 100\% \quad \dots \dots (2.14)$$

2.12 Diagram Pareto

Diagram ini diperkenalkan pertama kali oleh seorang ahli ekonomi

dari Italia bernama Vilfredo Pareto (1848-1923). Diagram Pareto dibuat untuk menemukan masalah atau penyebab yang merupakan kunci dalam penyelesaian masalah dan perbandingan terhadap keseluruhan. Dengan mengetahui penyebab-penyebab yang dominan yang seharusnya pertama kali dibatasi, maka kita akan bisa menetapkan prioritas perbaikan. Perbaikan atau tindakan koreksi pada faktor penyebab yang dominan ini akan membawa akibat atau pengaruh yang lebih besar dibandingkan dengan penyelesaian penyebab yang tidak berarti (Wignjosoebroto, 2006).

Pareto diagram atau diagram pareto merupakan diagram kombinasi antara diagram batang dengan diagram garis. Diagram batang disusun berdasarkan dari yang terbesar, dimana berarti bagian kiri menjadi lebih penting dibanding dengan sebelah kanan. Pengolahan dan penganalisaan pareto didasarkan pada prinsip Joseph Juran, yaitu prinsip 80/20. Dimana prinsip ini dimaksudkan untuk memisahkan antara permasalahan vital atau penting dengan hal-hal yang *trivial* atau sepele. Diagram pareto dibuat untuk menemukan atau mengetahui masalah atau penyebab yang merupakan kunci dalam menyelesaikan masalah dan perbandingan terhadap keseluruhan. Dengan mengetahui penyebab-penyebab yang dominan maka dapat menetapkan prioritas perbaikan. Perbaikan pada faktor penyebab yang dominan ini akan membawa pengaruh yang lebih besar dibandingkan dengan penyelesaian penyebab yang tidak berarti. Diagram pareto dapat digunakan untuk (Ginting, 2007):

1. Ketika melakukan penelitian atas data yang ada tentang frekuensi permasalahan dan penyebabnya dalam suatu proses produksi.
2. Ketika dijumpai banyak masalah atau permasalahan yang ingin dijadikan fokus dengan cara yang signifikan.
3. Ketika melakukan pengidentifikasi analisis penyebab secara luas dan ingin memperhatikan komponen penyebab yang spesifik.
4. Ketika mengkomunikasikan data yang ada dengan pihak lain.

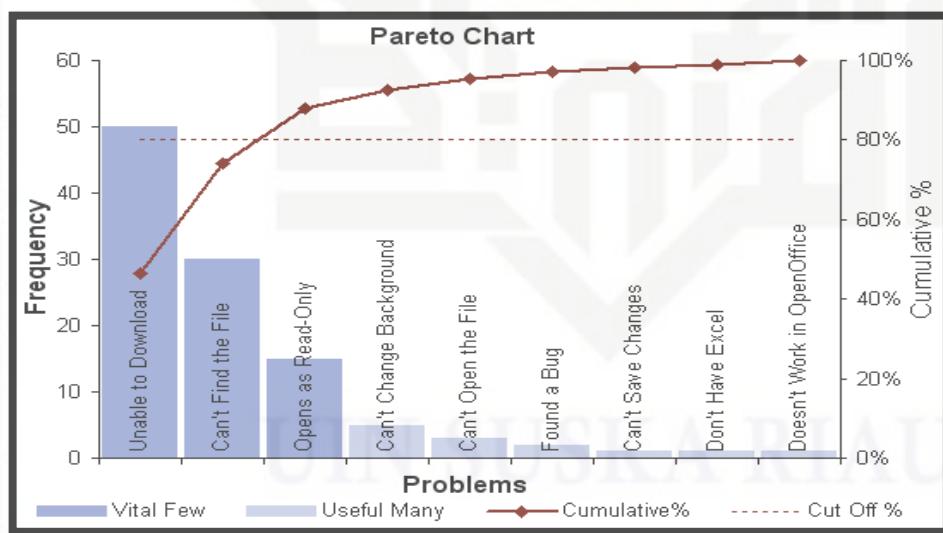
Langkah-langkah dalam membangun diagram pareto adalah sebagai berikut (Ginting, 2007):

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

- Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak mengikuti kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

- Kumpulkan data dan hitung kontribusinya yang biasanya dicerminkan oleh frekuensi kemunculan.
- Susun mulai dari kontribusi atau frekuensi terbesar
- Buat tabulasi data dalam tabel, lengkapi dengan jenis data, frekuensi kemunculan, frekuensi kumulatif, persen kemunculan dan persen kumulatif.
- Gambarkan grafik dengan sumbu x dan sumbu y, berbeda dengan grafik lain, pada diagram pareto sumbu y ada dua, yaitu bagian kiri untuk frekuensi kemunculan dan bagian kanan untuk persen frekuensi kumulatif. Dalam membuat skala, nilai dari sumbu x seperti diapit oleh kedua sumbu y, dan untuk nilai sumbu y frekuensi, nilai totalnya diskalakan sejajar dengan 100% kumulatif pada sumbu y kanan.
- Gambarkan diagram batang sesuai frekuensi secara berurutan.
- Plot titik-titik frekuensi kumulatif yang disejajarkan dengan persen frekuensi kumulatif.
- Hubungkan titik-titik yang diplot tersebut dengan garis sehingga membentuk lengkungan sampai ke titik 100% kumulatif (yang sejajar dengan total frekuensi).



Gambar 2.2 Diagram Pareto
(Sumber: Wignjosoebroto, 2009)

2.13 Defect atau Reject

Hal yang paling sering dikaitkan dengan kinerja suatu manufaktur adalah *defect* atau yang biasa disebut cacat produksi. Cara mengukur *defect* ini adalah dengan membandingkan antara jumlah *reject* dengan jumlah produksi yang dihasilkan. Dengan penerapan TPM, *defect* yang sering muncul dalam produksi dapat ditekan (Rahmadani, 2014).

Salah satu hal penting dari tujuan TPM adalah menyediakan barang atau produk ke *customer* tanpa cacat atau yang biasa disebut *zero defect*. Dengan adanya *preventive maintenance* dari strategi TPM, dapat mencegah terjadinya *defect*. Artikel yang berjudul *Competitive Manufacturing* 2007, mengatakan bahwa konsep TPM dapat mengeliminasi terjadinya *defect*. Seperti yang telah dikatakan di atas bahwa strategi TPM adalah mengatasi adanya *six big losses*, yang salah satunya adalah kerugian dalam *defect* atau cacat produksi (Rahmadani, 2014).

2.14 Defenisi dan Konsep Dasar Penjadwalan

Penjadwalan adalah pengurutan pembuatan atau penggeraan produk secara menyeluruh yang dikerjakan pada beberapa buah mesin. Dengan demikian masalah *sequencing* senantiasa melibatkan penggeraan sejumlah komponen yang sering disebut dengan istilah '*job*'. *Job* sendiri masih merupakan komposisi dari sejumlah elemen-elemen dasar yang disebut aktivitas atau operasi. Tiap aktivitas atau operasi ini membutuhkan alokasi sumber daya tertentu selama periode waktu tertentu yang sering disebut dengan waktu proses (Ginting, 2009).

Penjadwalan merupakan alat ukur yang baik bagi perencanaan agregat. Pesanan-pesanan aktual pada tahap ini akan ditugaskan pertama kalinya pada sumber daya tertentu (fasilitas, pekerja dan peralatan), kemudian dilakukan pengurutan kerja pada tiap-tiap pusat pemrosesan sehingga dicapai optimalitas utilisasi kapasitas yang ada. Pada penjadwalan ini, permintaan akan produk-produk yang tertentu (jenis dan jumlah) dari MPS akan ditugaskan pada pusat-pusat pemrosesan tertentu untuk periode harian (Ginting, 2009).

2.15 Tujuan Penjadwalan

Bedworth (1987 dikutip oleh Ginting, 2009), mengidentifikasi beberapa tujuan dari aktivitas penjadwalan adalah sebagai berikut:

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak mengikuti kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

1. Meningkatkan penggunaan sumberdaya atau mengurangi waktu tunggunya, sehingga total waktu proses dapat berkurang, dan produktivitas dapat meningkat.
2. Mengurangi perseruaan barang setengah jadi atau mengurangi jumlah pekerjaan yang menunggu dalam antrian ketika sumberdaya yang ada masih mengerjakan tugas yang lain. Teori Baker mengatakan, jika aliran kerja suatu jadwal konstan, maka antrian yang mengurangi rata-rata waktu alir akan mengurangi rata-rata perseruaan barang setengah jadi.
3. Mengurangi beberapa kelambatan pada pekerjaan yang mempunyai batas waktu penyelesaian sehingga akan meminimisasi *penalty cost* (biaya kelambatan).
4. Membantu pengambilan keputusan mengenai perencanaan kapasitas pabrik dan jenis kapasitas yang dibutuhkan sehingga penambahan biaya yang mahal dapat dihindarkan.

2.16 Pengertian Penjadwalan

Pengertian penjadwalan secara umum dapat diartikan seperti: "*Scheduling is the allocation of resources overtime to perform collection of risk*", yang artinya penjadwalan adalah pengalokasian sumber daya yang terbatas untuk mengerjakan sejumlah pekerjaan. Permasalahan muncul apabila pada tahapan operasi tertentu beberapa atau seluruh pekerjaan itu membutuhkan stasiun kerja yang sama. Dengan dilakukannya pengurutan pekerjaan ini unit-unit produksi (*resources*) dapat dimanfaatkan secara optimum. Pemanfaatan ini antara lain dilakukan dengan jalan meningkatkan utilitas unit-unit produksi melalui usaha-usaha mereduksi waktu menganggur (*idle time*) dari unit-unit yang bersangkutan. Pemanfaatan lainnya dapat juga dilakukan dengan cara meminimumkan *in-process inventory* melalui reduksi terhadap waktu rata-rata pekerjaan yang menunggu (antri) dalam baris antrian pada unit-unit produksi (Ginting, 2009).

Pengertian penjadwalan diatas tidak terbatas hanya untuk penjadwalan mesin saja sebagai faktor utama dalam penentuan penjadwalan tetapi meliputi unit-unit produksi (*resources*) yang berkaitan langsung pada proses produksi, seperti yang dikemukakan berikut ini: “*....each activity requires certain amounts of specified resources for a specified time called machine, cells, transport, delay and so on*” yang artinya setiap aktivitas yang diminta pada jenis sumber daya memiliki bagian-bagian yang disebut mesin, sel, transportasi, penundaan dan sebagainya. Hal ini menunjukan bahwa penjadwalan tidak hanya terbatas pada mesin saja tetapi setiap elemen kerja yang membutuhkan waktu (Ginting, 2009).

Untuk dapat mencapai tujuan di atas, dilakukan melalui pengurutan pekerjaan pada proses produksi. Pada kenyataannya, seringkali masalah yang dihadapi bersifat kompleks, sehingga sulit untuk melakukan pendekatan optimal. Dalam keadaan ini, pendekatan tidak menjamin penyelesaian yang optimum (Ginting, 2009).

Secara garis besar, pengurutan pekerjaan pada mesin terdiri atas 2 jenis (Ginting, 2009):

1. Pengurutan n pekerjaan terhadap 1 mesin.
2. Pengurutan n pekerjaan terhadap m mesin.

Pengurutan n pekerjaan terhadap m mesin juga terdiri atas dua jenis, disesuaikan dengan kondisi permasalahan, yaitu (Ginting, 2009):

1. M mesin pararel, maksudnya masing-masing pekerjaan (*job*) diproses pada satu mesin yang disusun secara pararel.
2. M mesin seri, maksudnya masing-masing pekerjaan harus melewati masing-masing mesin.

2.17 *Reliability Centered Maintenance (RCM)*

RCM (*Reliability Centered Maintenance*) merupakan suatu metode perawatan yang memanfaatkan informasi yang berkaitan dengan keandalan suatu fasilitas. Untuk memperoleh strategi perawatan yang efektif, efisien dan mudah untuk dilaksanakan. Melalui penggunaan RCM, dapat diperoleh informasi apa saja yang harus dilakukan untuk menjamin mesin atau peralatan dapat terus

beroperasi dengan baik. Selain ini juga ada yang mendefinisikan *Reliability Centered Maintenance* (RCM) adalah suatu metode yang digunakan untuk mengembangkan dan memilih alternatif desain pemeliharaan berdasarkan kriteria keselamatan operasional (Kurniawan, 2013).

Menurut Masruroh (2008), RCM (*Reliability Centered Maintenance*) merupakan suatu teknik yang dipakai untuk mengembangkan *preventive maintenance* yang terjadwal. Hal ini didasarkan pada prinsip bahwa keandalan dari peralatan dan struktur dari kinerja yang akan dicapai adalah fungsi dari perancangan (*design*) dan kualitas pembentukan *preventive maintenance* yang efektif akan menjamin terlaksananya desain keandalan dari peralatan.

Menurut Dhillon (2002 dikutip oleh Widyaningsih, 2011) menyebutkan bahwa *reliability centered maintenance* adalah sistematis proses yang digunakan untuk menentukan apa yang harus dilaksanakan untuk memastikan setiap fasilitas dapat terus menjalankan fungsinya dalam operasionalnya. RCM berfokus pada *preventive maintenance* (PM) terhadap kegagalan yang sering terjadi.

2.18 Tujuan *Reliability Centered Maintenance* (RCM)

Beberapa tujuan penting dari penerapan RCM adalah (Widyaningsih, 2011):

1. Membentuk desain yang berhubungan supaya dapat memfasilitasi *preventive maintenance* (PM).
2. Mendapatkan informasi yang berguna untuk meningkatkan desain produk atau mesin yang ternyata tidak memuaskan, yang berhubungan dengan keandalan.
3. Membentuk PM dan tugas yang berhubungan yang dapat mengembalikan keandalan.
4. Mendapatkan semua tujuan diatas dengan total biaya yang minimal.

2.19 Prinsip-Prinsip RCM

Prinsip-prinsip RCM adalah (Azis, 2010):

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak mengikuti kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

Hak cipta milik UIN Suska Riau

1. Memelihara fungsional sistem, bukan sekedar memelihara suatu sistem atau alat agar beroperasi tetapi memelihara agar fungsi sistem atau alat tersebut sesuai dengan harapan.
2. Lebih fokus kepada fungsi sistem daripada suatu komponen tunggal, yaitu apakah sistem masih dapat menjalankan fungsi utama jika suatu komponen mengalami kegagalan.
3. Berbasiskan pada kehandalan yaitu kemampuan suatu sistem atau equipment untuk terus beroperasi sesuai dengan fungsi yang diinginkan.
4. Bertujuan menjaga agar kehandalan fungsi sistem tetap sesuai dengan kemampuan yang didesain untuk sistem tersebut.
5. mengutamakan keselamatan (*safety*) baru kemudian untuk masalah ekonomi.
6. RCM mendefinisikan kegagalan (*failure*) sebagai kondisi yang tidak memuaskan (*unsatisfactory*) atau tidak memenuhi harapan, sebagai ukurannya adalah berjalannya fungsi sesuai *performance standard* yang ditetapkan.
7. RCM harus memberikan hasilhasil yang nyata atau jelas, Tugas yang dikerjakan harus dapat menurunkan jumlah kegagalan (*failure*) atau paling tidak menurunkan tingkat kerusakan akibat kegagalan.

2.20 Manfaat *Reliability Centered Maintenance* (RCM)

Terdapat beberapa manfaat bagi perusahaan apabila melaksanakan RCM antara lain (Kurniawan, 2013):

1. Meningkatkan kinerja operasi sehingga mampu menghasilkan produk yang berkualitas.
2. Meningkatkan keselamatan dan perlindungan terhadap lingkungan kerja.
3. Efisiensi terhadap biaya pemeliharaan.
4. Memperpanjang umur pemakaian peralatan dan mesin. khususnya mesin dengan biaya yang mahal.
5. Memperbaiki sistem data *base* pada departemen perawatan, sehingga dapat lebih teratur.

2.20 Manfaat *Reliability Centered Maintenance* (RCM)

Terdapat beberapa manfaat bagi perusahaan apabila melaksanakan RCM antara lain (Kurniawan, 2013):

1. Meningkatkan kinerja operasi sehingga mampu menghasilkan produk yang berkualitas.
2. Meningkatkan keselamatan dan perlindungan terhadap lingkungan kerja.
3. Efisiensi terhadap biaya pemeliharaan.
4. Memperpanjang umur pemakaian peralatan dan mesin. khususnya mesin dengan biaya yang mahal.
5. Memperbaiki sistem data *base* pada departemen perawatan, sehingga dapat lebih teratur.

6. Meningkatkan kerjasama antar karyawan dan memotivasi individu untuk dapat bekerja dengan lebih baik.

2.21 Langkah Implementasi *Reliability Centered Maintenance (RCM)*

2.21.1 Pemilihan Sistem dan Informasi

Pemilihan sistem dan pengumpulan informasi pemilihan sistem dapat didasarkan pada beberapa aspek kriteria yaitu (Azis, 2010):

1. Sistem yang mendapat perhatian yang tinggi karena berkaitan dengan masalah keselamatan (*safety*) dan lingkungan
2. Sistem yang memiliki *preventive maintenance* dan atau biaya *preventive maintenance* yang tinggi.
3. Sistem yang memiliki tindakan *corrective maintenance* dan atau biaya *corrective maintenance* yang banyak.
4. Sistem yang memiliki kontribusi yang besar atas terjadinya *full* atau *partial outage* (atau *shutdown*).

Dokumen atau informasi yang dibutuhkan dalam analisis RCM antara lain (Azis, 2010):

1. *Piping and Instrumentation Diagram (P&ID)* merupakan ilustrasi skematis dari hubungan fungsi antara perpipaan, instrumentasi, komponen peralatan dan sistem
2. *Schematic or Block Diagram* merupakan sebuah gambaran dari sistem, rangkaian atau program yang masing-masing fungsinya diwakili oleh gambar kotak berlabel dan hubungan diantaranya digambarkan dengan garis penghubung.
3. *Vendor Manual* yaitu berupa dokumen data dan informasi mengenai desain dan operasi tiap peralatan (*equipment*) dan komponen.
4. *Equipment History* yaitu kumpulan data kegagalan (*failure*) komponen dan peralatan dengan data *corrective maintenance* yang pernah dilakukan.

2.21.2 Analisa Kegagalan Fungsi

Yaitu kegiatan untuk mendeskripsikan masing-masing sistem sub sistem, dan komponen atau peralatan serta mengidentifikasi semua fungsi dan *interface* dengan sistem atau sub sistem yang lain dan mengidentifikasi semua kegagalan fungsional (Kurniawan, 2013).

2.21.3 Failure Modes and Effects Analysis (FMEA)

Failure modes and effects analysis (FMEA) merupakan salah satu teknik yang sistematis untuk menganalisa kegagalan. Teknik ini dikembangkan pertama kali sekitar tahun 1950-an oleh para *reliability engineers* yang sedang mempelajari masalah yang ditimbulkan oleh peralatan militer yang mengalami malfungsi. Teknik analisa ini lebih menekankan pada *hardware-oriented approach* atau *bottom-up approach*. Dikatakan demikian karena analisa yang dilakukan dimulai dari peralatan dan meneruskannya ke sistem yang merupakan tingkat yang lebih tinggi (Masruroh, 2008)

FMEA sering menjadi langkah awal dalam mempelajari keandalan sistem. Kegiatan FMEA melibatkan banyak hal seperti *me-review* berbagai komponen, rakitan dan subsistem-untuk mengidentifikasi mode-mode kegagalannya, penyebab kegagalannya, serta dampak kegagalan yang ditimbulkan. Untuk masing-masing komponen, berbagai mode kegagalan berikut dampaknya pada sistem dituliskan pada sebuah FMEA *worksheet*. Secara umum tujuan dari penyusunan FMEA adalah sebagai berikut (Masruroh, 2008):

1. Membantu dalam pemilihan desain alternatif yang memiliki keandalan dan keselamatan potensial yang tinggi selama fase desain.
2. Untuk menjamin bahwa semua bentuk mode kegagalan yang dapat diperkirakan berikut dampak yang ditimbulkannya terhadap kesuksesan operasional sistem telah dipertimbangkan.
3. Membuat list kegagalan potensial, serta mengidentifikasi seberapa besar dampak yang ditimbulkannya.
4. Men-develop kriteria awal untuk rencana dan desain pengujian serta untuk membuat daftar pemeriksaan sistem.
5. Sebagai basis analisa kualitatif keandalan dan ketersediaan.

6. Sebagai dokumentasi untuk referensi pada masa yang akan datang untuk membantu menganalisa kegagalan yang terjadi di lapangan serta membantu bila sewaktu-waktu terjadi perubahan desain.
7. Sebagai data *input* untuk studi banding.
8. Sebagai basis untuk menentukan prioritas perawatan korektif.

Kegunaan dari *failure modes and effects analysis* adalah sebagai berikut (Masruroh, 2008):

1. Ketika diperlukan tindakan preventif atau pencegahan sebelum masalah terjadi.
2. Ketika ingin mengetahui atau mendata alat deteksi yang ada jika terjadi kegagalan.
3. Pemakaian proses baru.
4. Perubahan atau pergantian komponen peralatan.
5. Pemindahan komponen atau proses ke arah baru

Dalam menentukan prioritas dari suatu bentuk kegagalan maka tim FMEA harus mendefinisikan terlebih dahulu tentang *severity*, *occurrence*, *detection* serta hasil akhirnya yang berupa *Risk Priority Number* (RPN). Berikut adalah penjelasan dari masing-masing definisi diatas, yaitu (Masruroh, 2008):

1. *Severity*

Severity adalah langkah pertama untuk menganalisa resiko yaitu menghitung seberapa besar dampak atau intensitas kejadian mempengaruhi *output* proses. *Severity* adalah suatu perkiraan subjektif mengenai kerumitan suatu kegagalan dan bagaimana buruknya pengguna akhir akan merasakan akibat dari kegagalan tersebut. Dampak tersebut dirancang mulai skala 1 sampai 10, dimana 10 merupakan dampak terburuk

Tabel 2.1 Rating Severity Dalam FMEA

Rating	Akibat	Kriteria Verbal	Akibat pada produksi
1	Tidak ada akibat	Tidak ada akibat apa-apa (tidak ada akibat) dan tidak ada penyesuaian yang diperlukan	Proses berada dalam pengendalian tanpa perlu penyesuaian
2	Akibat sangat ringan	Mesin tetap beroperasi dan aman, hanya terjadi	Proses berada dalam pengendalian hanya

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak mengikuti kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

© Hak Cipta ini		sedikit gangguan peralatan yang tidak berarti	membutuhkan sedikit penyesuaian
3	Akibat ringan	Mesin tetap operasi dan aman, hanya terjadi sedikit gangguan	Proses berada diluar pengendalian beberapa penyesuaian diperlukan

(Sumber: Masruroh, 2008)

Tabel 2.1 *Rating Severity* dalam FMEA (Lanjutan)

Rating	Akibat	Kriteria Verbal	Akibat pada produksi
4	Akibat minor	Mesin tetap beroperasi dan aman, namun terdapat gangguan kecil	Kurang dari 30 menit <i>downtime</i> atau tidak ada kehilangan waktu produksi
5	Akibat moderat	Mesin tetap beroperasi dan aman, namun telah menimbulkan beberapa kegagalan produk	30– 60 menit <i>downtime</i>
6	Akibat signifikan	Mesin tetap beroperasi dan aman, tetapi menimbulkan kegagalan produk	1 – 2 jam <i>downtime</i>
7	Akibat major	Mesin tetap beroperasi dan aman, tetapi tidak dapat dijalankan	2 – 4 jam <i>downtime</i>
8	Akibat ekstrim	Mesin tidak dapat beroperasi, telah kehilangan fungsi utama mesin	4 – 8 jam <i>downtime</i>
9	Akibat serius	Mesin gagal beroperasi, serta tidak sesuai dengan peraturan keselamatan kerja	> 8 jam <i>downtime</i>
10	Akibat berbahaya	Mesin tidak layak beroperasi, karena dapat menimbulkan kecelakaan secara tiba-tiba, bertentangan dengan peraturan keselamatan kerja	> 8 jam <i>downtime</i>

(Sumber: Masruroh, 2008)

2. *Occurrence*

Occurrence adalah kemungkinan bahwa penyebab tersebut akan terjadi dan menghasilkan bentuk kegagalan selama masa penggunaan (*possible failure rates*). Dengan memperkirakan kemungkinan *occurrence* pada skala 1 sampai 10.

Tabel 2.2 Rating Occurrence Dalam FMEA

Rating	Kejadian	Kriteria Verbal	Tingkat Kejadian
Suska Riau	1	Hampir tidak pernah	Kaehrusakan hampir tidak pernah terjadi
	2	Remote	Kerusakan Jarang Terjadi
	3	Sangat sedikit	Kerusakan terjadi sangat sedikit
	4	Sedikit	Kerusakan terjadi sedikit
	5	Rendah	Kerusakan terjadi pada tingkat rendah
	6	Medium	Kerusakan terjadi pada tingkat medium
	7	Agak tinggi	Kerusakan terjadi agak tinggi
	8	Tinggi	Kerusakan terjadi tinggi
	9	Sangat tinggi	Kerusakan terjadi sangat tinggi
	10	Hampir selalu	Kerusakan selalu terjadi

(Sumber: Masruroh, 2008)

3. Detection

Detection adalah pengukuran terhadap kemampuan mengendalikan atau mengontrol kegagalan yang dapat terjadi. Berdasarkan pada rating *detection*, jika *detection* menunjukkan “tidak pasti” maka dapat dikatakan sistem kontrol yang berfungsi tidak dapat mendeteksi kegagalan yang muncul dan termasuk ke dalam rating 10 dan seterusnya seperti yang telah dijelaskan pada table dibawah ini:

Tabel 2.3 *Rating Detection* dalam FMEA

Rating	Akibat	Kriteria verbal
1	Hampir pasti	Perawatan preventif akan selalu mendeteksi penyebab potensial kegagalan dan mode kegagalan
2	Sangat tinggi	Perawatan preventif memiliki kemungkinan sangat tinggi untuk mendeteksi penyebab potensial kegagalan

(Sumber: Masruroh, 2008)

Tabel 2.3 *Rating Detection* dalam FMEA (Lanjutan)

Rating	Akibat	Kriteria verbal
3	Tinggi	Perawatan preventif memiliki kemungkinan tinggi untuk mendeteksi penyebab potensial kegagalan dan mode kegagalan
4	Moderat tinggi	Perawatan preventif memiliki kemungkinan moderat tinggi untuk mendeteksi penyebab potensial kegagalan dan mode kegagalan
5	Moderat	Perawatan preventif memiliki kemungkinan moderat untuk mendeteksi penyebab kegagalan dan mode kegagalan
6	Rendah	Perawatan preventif memiliki kemungkinan rendah untuk mendeteksi penyebab kegagalan dan mode kegagalan
7	Sangat rendah	Perawatan preventif memiliki kemungkinan sangat rendah untuk mendeteksi penyebab kegagalan dan mode kegagalan
8	Sedikit	Perawatan preventif memiliki sedikit kemungkinan untuk mendeteksi penyebab kegagalan dan mode kegagalan
9	Sangat sedikit	Perawatan preventif memiliki sangat sedikit kemungkinan untuk mendeteksi penyebab kegagalan dan mode kegagalan
10	Tidak pasti	Perawatan preventif akan selalu tidak mampu untuk mendeteksi penyebab kegagalan dan mode kegagalan

(Sumber: Masruroh, 2008)

4. *Risk Priority Number*

Risk Priority Number (RPN) merupakan produk matematis dari keseriusan effects (*severity*), kemungkinan terjadinya *cause* akan menimbulkan kegagalan yang berhubungan dengan *effects* (*occurrence*) dan kemampuan untuk mendeteksi kegagalan sebelum terjadi (*detection*). RPN dapat ditunjukkan dengan persamaan sebagai berikut :

$$RPN = S \times O \times D \quad \dots(2.15)$$

Langkah-langkah dalam penyusunan *failure mode and effects analysis* adalah sebagai berikut (Masruroh, 2008):

1. Menentukan nama mesin dan komponen yang menjadi objek FMEA.
2. Mendeskripsikan fungsi dari komponen yang dianalisa.
3. Mengidentifikasi *function failure* atau kegagalan fungsi
4. Mengidentifikasi *failure mode* atau penyebab kegagalan yang terjadi .
5. Mengidentifikasi *failure effect* atau dampak yang ditimbulkan dari kegagalan system.
6. Menentukan *severity* atau penilaian keseriusan efek dari bentuk kegagalan.
7. Menentukan *occurrence* yaitu sesering apa penyebab kegagalan spesifik dari suatu proyek tersebut terjadi.
8. Menentukan *detection* atau penilaian dari kemungkinan suatu alat dapat mendeteksi penyebab terjadinya bentuk kegagalan.
9. Menghitung RPN (*Risk Priority Number*) yaitu angka prioritas resiko yang didapatkan dari perkalian *severity*, *occurrence* dan *detection*.

2.22 Logic Tree Analysis (LTA)

Penyusunan *Logic Tree Analysis* (LTA) merupakan proses yang kualitatif yang digunakan untuk mengetahui konsekuensi yang ditimbulkan oleh masing-masing *failure mode*. Tujuan *Logic Tree Analysis* (LTA) adalah mengklasifikasikan *failure mode* ke dalam beberapa kategori sehingga nantinya dapat ditentukan tingkat prioritas dalam penanganan masing-masing *failure mode* berdasarkan kategorinya. Format LTA pada pompa ditunjukkan pada Tabel 2.4 (Azis, 2010).

Tabel 2.4 *Logic Tree Analysis*

No	Functional Failure	No	Failure Mode	Criticality Analysis				Comentari
				Evident	Safety	Outage	Category	
1	Air tidak mengalir	1	Bearing rusak	Y	N	Y	B	
1.1		2	Motor Terbakar	Y	N	Y	B	
1.2		3	Impeller Rusak	Y	N	Y	B	

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber;

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak mengikuti kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

(Sumber: Azis, 2010)

Tiga pertanyaan tersebut adalah sebagai berikut (Azis, 2010):

1. *Evident* yaitu: Apakah operator mengetahui dalam kondisi normal, telah terjadi gangguan dalam sistem?
2. *Safety* yaitu: Apakah mode kerusakan ini menyebabkan masalah keselamatan?
3. *Outage* yaitu: Apakah mode kerusakan ini mengakibatkan seluruh atau sebagian mesin berhenti?

Tabel 2.5 Form *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)

RCM								
Step 5		<i>Failure Mode and Effect Analysis</i>						
Info		<i>Failure Mode and Effect Analysis</i>						
Plant		Reaktor RSG GA Siwabessy			Analyst	:	M. Tahril Azis	
System		Sistem Pendingin Primer			Date	:		
Komp.		<i>Asset name</i>						
No	ID	Asset name	F	FF	Failure Mode (FM)	Failure Effect		LTA
						Local	Syst.	Plant

(Sumber: Azis, 2010)

Berdasarkan LTA tersebut *failure mode* dapat digolongkan dalam empat kategori yaitu (Azis, 2010):

1. Kategori A, jika *failure mode* mempunyai konsekuensi *safety* terhadap personel maupun lingkungan.
2. Kategori B, jika *failure mode* mempunyai konsekuensi terhadap operasional plant (mempengaruhi kuantitas ataupun kualitas *output*) yang dapat menyebabkan kerugian ekonomi secara signifikan.
3. Kategori C, jika *failure mode* tidak berdampak pada *safety* maupun operasional plant dan hanya menyebabkan kerugian ekonomi yang relatif kecil untuk perbaikan.
4. Kategori D, jika *failure mode* tergolong sebagai *hidden failure*, yang kemudian digolongkan lagi ke dalam kategori D/A, kategori D/B, dan kategori D/C.

2.23 Pemilihan Tindakan (*Task Selection*)

2.24 Reliability (Kehandalan)

Kehandalan (*reliability*) didefinisikan sebagai probabilitas bahwa suatu komponen atau sistem akan melakukan fungsi yang diinginkan sepanjang suatu periode waktu tertentu bilamana digunakan pada kondisi-kondisi pengoperasian yang telah ditentukan atau dalam perkataan yang lebih singkat, keandalan merupakan probabilitas dari ketidakgagalan terhadap waktu (Isma, 2011).

Menurut Widyaningsih (2011) *reliability* atau keandalan dari suatu produk atau sistem menyampaikan konsep dapat diandalkan atau sistem tersebut sukses beroperasi dengan tidak adanya kegagalan lebih tepatnya *reliability*

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak mengikuti kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Pemilihan tindakan merupakan tahap terakhir dari proses analisa RCM. Dari tiap *mode* kerusakan dibuat daftar tindakan yang mungkin untuk dilakukan dan selanjutnya memilih tindakan yang paling efektif. Gambar 2.3 merupakan diagram alir pemilihan tindakan (Azis, 2010).

Dalam pelaksanaannya pemilihan tindakan dapat dilakukan dengan empat cara yaitu (Azis, 2010):

1. *Time Directed* (TD)

Suatu tindakan yang bertujuan melakukan pencegahan langsung terhadap sumber kerusakan peralatan yang didasarkan pada waktu atau umur komponen.

2. *Condition Directed* (CD)

Suatu tindakan yang bertujuan untuk mendeteksi kerusakan dengan cara memeriksa alat. Apabila dalam pemeriksaan ditemukan gejala-gejala kerusakan peralatan maka dilanjutkan dengan perbaikan atau penggantian komponen.

3. *Failure Finding* (FF)

Suatu tindakan yang bertujuan untuk menemukan kerusakan peralatan yang tersembunyi dengan pemeriksaan berkala.

4. *Run to Failure* (RTF)

Suatu tindakan yang menggunakan peralatan sampai rusak, karena tidak ada tindakan yang ekonomis dapat dilakukan untuk pencegahan kerusakan.

didefinisikan sebagai suatu konsep terkait sebagai berikut: Kehandalan produk suatu sistem adalah probalitas suatu barang atau sistem mampu melakukan fungsi tertentu untuk periode waktu tertentu jika beroperasi secara normal.

2.24.1 Produk yang Dapat Diperbaiki dan Tidak Dapat Diperbaiki

Dalam analisis reliabilitas salah satu poin penting sebelum melakukan analisis adalah mendefinisikan suatu produk yang dapat diperbaiki dan yang tidak dapat diperbaiki. Defenisi reliabilitas untuk kedua jenis produk berbeda. Untuk produk yang dapat diperbaiki (*repairable*), reliabilitas suatu produk tidak terjadi selama periode waktu tertentu karena waktu kegagalan lebih dari 1 kali. Ukuran reliabilitas untuk jenis produk diukur dengan menggunakan MTBF (*mean time between failures*) dan *availability*. Contoh produk yang dapat diperbaiki adalah TV, radio, mobil, kulkas, dan lain-lain. Berbeda dengan produk yang tidak dapat diperbaiki (*non-repairable*), hidupnya hanya sekali. Ketika produk rusak, maka produk tidak dapat diperbaiki kembali sehingga hanya ada 1 waktu kegagalan. Contoh produknya adalah bola lampu dan transistor. Pengukuran keandalan jenis produk menggunakan MTTF (*mean time to failure*) dan *hazard rate* (Irawan, 2006).

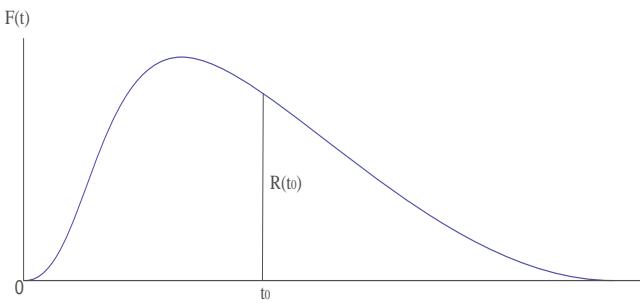
2.24.2 Distribusi Kegagalan

Apabila suatu produk gagal memenuhi spesifikasinya, maka produk dikatakan gagal. Lebih lanjut waktu sampai terjadinya gagal dinamakan waktu kegagalan waktu kegagalan (t) suatu produk dengan produk lainnya bervariasi dan merupakan variabel acak. Karena merupakan variabel acak, maka fungsi kepadatan (*probability distribution function, pdf*) waktu kegagalan suatu produk bermacam distribusi waktu kegagalan. Dengan kata lain, distribusi waktu kegagalan merupakan distribusi frekuensi relatif lama waktu hidup suatu produk (Irawan, 2006).



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak mengikuti kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.3 Ditrubusi Waktu Kegagalan
 (Sumber: Irawan, 2006)

Gambar 2.3 menunjukkan salah satu bentuk distribusi waktu kegagalan. fungsi kepadatan waktu kegagalan diberi notasi $f(t)$. Peluang suatu produk akan gagal sebelum waktu ke t_0 pada Gambar 2.3 ditunjukkan sebagai daerah yang diarsir dan secara matematis dirumuskan dalam rumus (Irawan, 2006):

$$F(t_0) = \int_0^{t_0} f(t) dt \quad \dots(2.16)$$

Suatu produk dikatakan andal apabila bisa memenuhi spesifikasi tertentu selama periode waktu tertentu (t_0). Jadi. reliabilitas suatu produk [$R(t_0)$], yang merupakan peluang suatu produk bisa bertahan (memenuhi spesifikasi tertentu) sampai waktu ke t_0 , dinyatakan dalam rumus (Irawan, 2006):

$$R(t_0) = 1 - F(t_0) = 1 - \int_0^{t_0} f(t) dt \quad \dots(2.17)$$

Penjelasan-penjelasan tersebut memberikan gambaran sangat jelas bahwa analisis reliabilitas berhubungan erat dengan distribusi yang mendasari waktu hidup suatu produk (Irawan, 2006).

2.24.3 Tingkat Kegagalan

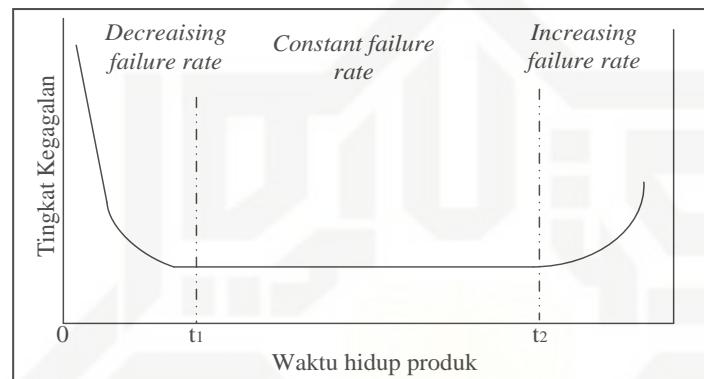
Tingkat kegagalan merupakan salah satu ukuran reliabilitas produk yang dapat diperbaiki. Tingkat kegagalan suatu produk adalah probabilitas suatu produk akan diperbaiki. Tingkat kegagalan suatu produk didefinisikan sebagai rata-rata jumlah produk atau sistem yang gagal per unit waktu. dalam persamaan matematika, penyataan dinyatakan dengan rumus (Irawan, 2006):

$$\text{Tingkat Kegagalan} = \frac{\text{Rata-rata komponen gagal}}{\text{Total waktu operasi}} \quad \dots(2.18)$$

Atau dapat pula dinyatakan dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Tingkat kegagalan } (a(t_0)) = \frac{f(t_0)}{R(t_0)} \quad \dots\dots(2.19)$$

Dalam kenyataannya, tingkat kegagalan suatu produk selama waktu hidupnya tidak selalu konstan atau selalu berubah-ubah. Model tingkat kegagalan disebut *bathhtub curve*. Gambar 2.4 menunjukkan bentuk *bathhtub curve*.



Gambar 2.4 *Bathtub Curve*
 (Sumber: Irawan, 2006)

Di awal hidup suatu produk sampai pada periode tertentu, t_1 lalu kegagalan suatu produk akan menurun seiring dengan bertambahnya waktu. Selama periode diistilahkan dengan *decreasing failure rate* (DFR) atau sering disebut *burn in period* (masa pemanasan). Tingkat kegagalan akan berubah selama periode selanjutnya, misalnya mulai dan periode t_1 sampai t_2 . Pada periode ini, tingkat kegagalan akan konstan sering dengan bertambahnya waktu. Masa ketika tingkat kegagalan suatu produk konstan disebut *constant failure rate* (CFR) atau sering pula disebut masa *maturity* (pendewasaan). Mulai dari akhir masa CFR (t) sampai waktu ke- t , yaitu waktu dimana suatu produk akan rusak, ringkat kegagalan semakin meningkat karena produk sudah mengalami aus. Masa ini disebut *increasing failure rate* (IFR) atau sering pula disebut *burn out period* (Irawan, 2006).

Model *bathtub curve* merupakan dasar melakukan perhitungan reliabilitas suatu produk atau sistem. Apabila akan melakukan perhitungan reliabilitas pada *burn in period* (DFR), maka kurva yang digunakan adalah kurva probabilitas

berbentuk menurun. Begitu pula apabila berminat mempelajari rehabilitas suatu produk di masa IFR, kurva yang digunakan adalah kurva probabilitas yang naik (Irawan, 2006).

2.24.4 Hazard Rate

Hazard rate memberikan ukuran tingkat kegagalan suatu komponen hingga waktu tertentu atau sebagai fungsi sampai beberapa lama komponen dapat digunakan (tingkat kegagalan suatu komponen sampai waktu tertentu, t) dalam persamaan matematis, pernyataan dapat dinyatakan dalam rumus (Irawan, 2006):

$$\text{Hazard rate} = \frac{\text{Probabilitas komponen gagal saat } t}{\text{Reliabilitas komponen hingga waktu } t} \quad \dots\dots(2.20)$$

atau, bila dinyatakan dalam bentuk lain dengan rumus:

$$\text{Hazard rate} = \frac{f(t)}{1-F(t)} = \frac{f(t)}{R(t)} \quad \dots\dots(2.21)$$

Dalam hal in, $f(t)$ adalah probabilitas komponen gagal saat t dan $R(t)$ adalah reliabilitas suatu komponen hingga waktu ke $-t$.

2.24.5 Mean Time Between Failure (MTBF)

Pengukuran reliabilitas suatu produk atau sistem yang dapat diperbaiki adalah dengan menggunakan MTBF (*Mean Time Between Failure*). MTBF atau sering disebut waktu rata-rata antar kegagalan adalah rata-rata waktu sistem akan beroperasi sampai terjadi kegagalan berikutnya. MTBF (μ) dapat diukur melalui rasio antara total waktu pengamatan dengan rata-rata jumlah kegagalan yang ditemukan. MTBF berbanding terbalik dengan tingkat kegagalan sehingga MTBF dapat diukur dengan rumus (Irawan, 2006) :

$$\text{MTBF} = \frac{1}{\text{Tingkat Kegagalan}} \quad \dots\dots(2.22)$$

2.24.6 Mean Time to Failure (MTTF)

Apabila ukuran keandalan produk atau system yang dapat diperbaiki adalah MTBF, maka ukuran keandalan suatu produk atau system yang tidak dapat diperbaiki adalah MTTF. MTTF (*mean time to failure*) adalah rata-rata waktu suatu sistem akan beroperasi sampai terjadi kegagalan pertama kali. Hubungan antara MTTF dengan *hazard rate* adalah dengan rumus (Irawan, 2006) :

$$MTTF = \frac{1}{\text{Tingkat Kegagalan}} \quad \dots\dots(2.23)$$

2.25 Distribusi Untuk Menghitung Kehandalan

Pada penelitian ini, distribusi yang digunakan untuk menghitung keandalan (*reliability*) adalah distribusi *normal*, *lognormal*, *weibull* dan *eksponensial*.

2.25.1 Distribusi Weibull

Distribusi *weibull* merupakan distribusi empiris yang paling banyak digunakan dan hampir muncul pada semua karakteristik kegagalan dari produk karena mencakup ketiga fase kerusakan yang mungkin terjadi pada distribusi kerusakan. Pada umumnya, distribusi ini digunakan pada komponen mekanik atau peralatan pemesinan (Widyaningsih, 2011).

Jika *time to failure* dari suatu komponen adalah T mengikuti distribusi *weibull* dengan tiga parameter maka *probability density function* dapat dirumuskan sebagai (Masruroh, 2008):

$$F(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta} \quad \dots\dots(2.24)$$

Dengan : β = *shape parameter*, η = *scale parameter*, γ = *shape parameter*

Jika nilai dari $\gamma = 0$, maka akan diperoleh distribusi *weibull* dengan dua parameter yaitu β dan η dengan rumus *probability density function*:

$$F(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta} \right)^\beta} \quad \dots\dots(2.25)$$

Mean Time To Failure dari rumus distribusi *weibull* adalah:

$$MTTF = \gamma + \eta \Gamma \left(\frac{1}{\beta} + 1 \right) \quad \dots \dots (2.26)$$

Dengan rumus *variance* sebagai:

$$\sigma^2 = \eta^2 \left\{ \Gamma \left(\frac{2}{\beta} + 1 \right) - \left[\Gamma \left(\frac{1}{\beta} + 1 \right) \right]^2 \right\} \quad \dots \dots (2.27)$$

Dan rumus fungsi keandalannya adalah:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad \dots \dots (2.28)$$

Dimana $\Gamma(x)$ adalah fungsi *gamma* dengan rumus:

$$\Gamma(x) = \int_0^x y^{x-1} e^{-y} dy \quad \dots \dots (2.29)$$

2.25.2 Distribusi Lognormal

Distribusi *lognormal* menggunakan dua parameter yaitu s yang merupakan parameter bentuk (*shape parameter*) dan t_{med} sebagai parameter lokasi (*location parameter*) yang merupakan nilai tengah dari suatu distribusi kerusakan. Distribusi ini dapat memiliki berbagai macam bentuk, sehingga sering dijumpai bahwa data yang sesuai dengan distribusi *weibbul* juga sesuai dengan distribusi *lognormal* (Widyaningsih, 2011).

Time to failure dari suatu komponen dikatakan memiliki distribusi *lognormal* bila $y = \ln T$, mengikuti distribusi normal dengan *probability density function* (Masruroh, 2008):

$$F(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}st} \exp \left[-\frac{1}{2s^2} \left(\ln \frac{t}{t_{med}} \right)^2 \right] \text{ dan } t \geq 0 \quad \dots \dots (2.30)$$

Mean Time To Failure dari rumus distribusi *lognormal*:

$$MTTF = t_{med} \exp \left(\frac{s^2}{2} \right) \quad \dots \dots (2.31)$$

Dengan rumus *variance*:

$$\sigma^2 = t_{med}^2 \exp(s^2) [\exp(s^2) - 1] \quad \dots \dots (2.32)$$

Dan rumus fungsi keandalan:

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

Dimana parameter s adalah standar *deviasi*, t_{med} adalah *media time to failure* dan σ adalah *variance*.

2.25.3 Distribusi Eksponensial

Distribusi *eksponensial* digunakan untuk menghitung kehandalan dari distribusi kerusakan yang memiliki laju kerusakan constant. Distribusi ini mempunyai laju kerusakan yang tetap terhadap waktu, dengan kata lain probabilitas terjadinya kerusakan tidak tergantung pada umur alat. Distribusi ini adalah distribusi yang paling mudah dianalisis. Parameter yang digunakan distribusi *eksponensial* adalah λ , yang menunjukkan rata-rata kedatangan kerusakan yang terjadi (Widyaningsih, 2011).

Jika *time to failure* dari suatu komponen adalah terdistribusi secara eksponensial dengan parameter λ , maka *probability density function* dapat dirumuskan sebagai (Masruroh, 2008):

$$F(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad \dots\dots(2.34)$$

Mean Time To Failure dari rumus distribusi eksponensial adalah:

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t)dt = \frac{1}{\lambda} \quad \dots\dots(2.35)$$

Dengan rumus *variance*:

$$\sigma^2 = \int_0^{\infty} \left(t - \frac{1}{\lambda}\right)^2 \lambda e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda^2} \quad \dots\dots(2.36)$$

Dan rumus fungsi keandalannya yaitu:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad \dots\dots(2.37)$$