

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang teori-teori yang diambil dari beberapa literatur yang berkaitan dengan permasalahan dalam penelitian ini dan menjadi acuan atau pedoman dalam melakukan penelitian agar benar-benar dapat mencapai tujuan yang diinginkan.

2.1 Penelitian

2.1.1 Jenis-Jenis Penelitian

Metode penelitian merupakan suatu cara ilmiah untuk mendapatkan data dan informasi yang diperlukan dalam menyelesaikan permasalahan dalam penelitian. Cara ilmiah yang digunakan berupa tahapan sistematis, sesuai dengan tujuan penelitian, agar mempermudah proses penarikan kesimpulan dari suatu hipotesis. Metode penelitian dijadikan acuan dalam melakukan penelitian sehingga diperoleh pemecahan masalah yang tepat dengan kerangka berpikir yang logis. Menurut Hussey (1997), berdasarkan alasan mengapa suatu penelitian dilakukan (*purpose of research*), penelitian dibagi dalam 4 golongan. Secara berurutan jenis penelitian tersebut adalah:

1. *Exploratory Research*, merupakan jenis penelitian penjajakan yang dilakukan saat data pendukung yang diperlukan dalam penelitian sangat terbatas, bahkan belum ada. Jenis penelitian ini bertujuan hanya untuk mencari pola, sebaran informasi, dan ide-ide penelitian yang difokuskan dalam perumusan hipotesis saja. Umumnya penelitian dilakukan dengan cara studi kasus, observasi dan analisis data historis.
2. *Descriptive Research*, merupakan jenis penelitian yang bertujuan untuk menggambarkan atau memaparkan sebuah fenomena/ objek secara apa adanya. Jenis penelitian ini digunakan untuk mengidentifikasi dan memperoleh informasi terkait karakteristik objek yang diteliti. Umumnya data yang dikumpulkan bersifat kuantitatif dan menggunakan *statistical tools* untuk meringkas dan menggambarkan informasi yang diperoleh dalam penelitian.
3. *Analytical Research*, merupakan jenis penelitian yang bertujuan untuk menyelidiki suatu permasalahan dengan cara menjelaskan mengapa dan bagaimana hubungan sebab-akibat objek penelitian dengan variabel-variabel yang mempengaruhinya. Jenis penelitian ini memungkinkan peneliti untuk melakukan identifikasi sekaligus dengan

mengontrol variabel-variabel dalam proses penelitian untuk menghasilkan suatu penjelasan/ kesimpulan yang terukur dan dapat dipertanggungjawabkan.

4. *Predictive Research*, merupakan jenis penelitian yang bertujuan untuk menggeneralisir suatu fenomena dengan memprediksi kejadian-kejadian yang akan datang berdasarkan pengolahan dan analisis data ilmiah. Jenis penelitian ini memberikan pemaparan, penjelasan objektif, komparasi, dan evaluasi yang dapat digunakan pada masa yang akan datang sebagai bahan pengambilan keputusan berdasarkan analisis data penelitian.

2.1.2 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian yang telah dilakukan dan digunakan sebagai referensi dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sultan (2009), dalam penelitian yang berjudul “Analisis Reliabilitas Sebagai Strategi Pencegahan Kerusakan Unit Galvanizing PT. Sermani Steel” menggunakan analisis keandalan. Dengan menggunakan analisis keandalan dapat diketahui nilai waktu antar kegagalan dan waktu antar perbaikan sehingga dapat ditentukan interval waktu perawatan pada unit Galvanizing dengan tujuan untuk menentukan strategi perawatan berdasarkan hasil analisis keandalan.
2. Yuhelson, et al. (2010), dalam penelitian berjudul “Analisis *Realibility* dan *Availability* Mesin Pabrik Kelapa Sawit PT. Perkebunan Nusantara 3” menggunakan diagram pareto dalam penentuan objek mesin yang diteliti. Kemudian data kerusakan mesin beserta komponennya dianalisis menggunakan teori keandalan dan ketersediaan guna menentukan usulan interval *maintenance* optimal. Dari usulan kebijakan *maintenance* diperkirakan perusahaan dapat menaikkan tingkat reliabilitas mesin, waktu antar kerusakan mesin, tingkat ketersediaan mesin, serta mampu menurunkan laju kegagalan mesin dan frekuensi perbaikan mesin.
3. Aji (2012), dalam penelitian yang berjudul “Perancangan Kegiatan Perawatan dengan Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) di Unit Crusher PT. Semen Gresik Persero Tbk.” menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA) untuk menganalisis data kuantitatif, serta *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) guna menentukan kegagalan fungsional dan efek kegagalan Mesin *Crusher*. Kemudian dalam merancang kegiatan perawatan optimal digunakan metode *Reliability Centered Maintenance*. Hasil akhir dari penelitian adalah interval optimal dalam melakukan perawatan pada 6 komponen kritis di Unit Crusher.

4. Sari dan Prasetyawan (2012), dalam penelitian yang berjudul “Perancangan Kebijakan Perawatan dan Penentuan Persediaan *Spare Part* di Sub Sistem Evaporasi Pabrik Urea Kaltim-3 PT. Pupuk Kalimantan Timur” menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* II (RCM II) yang menghasilkan fungsi, kegagalan fungsi, serta FMEA. Berdasarkan informasi pada FMEA tersebut, dihasilkan kebijakan perawatan dan pelaksana teknis. Selain itu juga dilakukan perhitungan persediaan *spare part* dengan memperhatikan *lead time* komponen.

Berikut adalah beberapa penelitian terdahulu yang dijadikan sebagai referensi pada penelitian ini Tabel 2.1 berikut ini:

Tabel 2.1 Penelitian-Penelitian Terdahulu

No	Penulis (Tahun)	Metode	Hasil Penelitian
1.	Sultan (2009)	Teori Keandalan	Nilai MTBF pada Unit Galvanizing adalah 988,95 jam, jadi interval perawatan dapat ditetapkan sebelum nilai MTBF tercapai. Sedangkan nilai MTTR adalah 14,58 jam. Laju kegagalan menunjukkan berada di <i>wear out period</i> .
2.	Yuhelson, et al. (2010)	<i>Reliability</i> dan <i>Availability Rate</i>	Mesin <i>Screw Press</i> 1 mengalami kenaikan keandalan dari 0.4207 menjadi 0.8259 (96%), penurunan laju kegagalan dari 0.0591 menjadi 0.0232 (61%), kenaikan <i>MTBF</i> dari 16.928 menjadi 43.172, kenaikan ketersediaan dari 0.8564 menjadi 0.9524 (11%), dan penurunan frekuensi perbaikan dari 37 kali menjadi 19 kali
3.	Aji (2012)	RCM, FTA, dan FMEA	Pada mesin <i>crusher</i> terdapat 6 komponen kritis dengan interval perawatan optimalnya antara lain <i>wobbler</i> 4 hari, <i>hopper</i> 4 hari, <i>rotor</i> 2 hari, <i>apron</i> 3 hari, <i>rotary</i> 4 hari, dan <i>oil plate</i> 2 hari. Total biaya perawatan optimal Rp2.463.200,675/ jam.
4.	Sari dan Prasetyawan (2012)	RCM II dan FMEA	Pada keandalan 0,39 dengan siklus $N=1$, didapatkan nilai CER terkecil. Untuk komponen <i>bearing</i> 2-P-303 A, interval waktu perawatannya adalah 2482,913 hari. Untuk penggunaan persediaan <i>spare part</i> didasarkan pada interval perawatan

Sumber: Sultan (2009), Yuhelson *et al* (2010), Aji (2013), Sari dan Prasetyawan (2012)

2.2 Perawatan (*Maintenance*)

2.2.1 Pengertian Perawatan

Perawatan atau yang lebih dikenal dengan kata *maintenance* dapat didefinisikan sebagai suatu aktivitas yang diperlukan untuk menjaga atau mempertahankan kualitas perawatan suatu fasilitas agar fasilitas tersebut tetap dapat berfungsi dengan baik dalam kondisi siap pakai (Sudradjat, 2011). Perawatan merupakan suatu kegiatan yang penting bagi perusahaan untuk menjamin kelangsungan kegiatan operasionalnya. Tuntutan

produksi dan persaingan industri yang semakin tinggi menjadikan peran perawatan menjadi salah satu faktor vital dan penentu keberhasilan perusahaan. Kegiatan perawatan akan mempengaruhi tingkat *reliability* dan *availability* setiap aset. Perawatan didefinisikan sebagai suatu kegiatan yang bertujuan untuk menjamin aset fisik dapat secara terus-menerus memenuhi fungsi yang diharapkan. Kegiatan *maintenance* hanya dapat memberikan kemampuan bawaan (*built-in capability*) dari komponen yang menjadi objek perawatan, bukan untuk meningkatkan kemampuannya.

2.2.2 Tujuan Perawatan

Dilihat dari perkembangan industri, memungkinkan mesin-mesin produksi akan melakukan serangkaian tugas yang panjang dan kompleks, artinya dituntut adanya pelaksanaan pekerjaan perawatan yang baik dan terarah. Pekerjaan perawatan lebih diarahkan untuk menjaga kontinuitas sistem sehingga sistem akan meningkatkan produktivitasnya. Secara umum perawatan bertujuan untuk (Sudradjat, 2011):

1. Menjamin ketersediaan, keandalan fasilitas (mesin dan peralatan) secara ekonomis maupun teknis, sehingga dalam penggunaannya dapat dilaksanakan seoptimal mungkin.
2. Memperpanjang usia kegunaan fasilitas.
3. Menjamin kesiapan operasional seluruh fasilitas yang diperlukan dalam keadaan darurat.
4. Menjamin keselamatan kerja, keamanan dalam penggunaannya.

Selain itu, menurut Corder (1996) tujuan perawatan yang utama dapat didefinisikan sebagai berikut:

1. Memperpanjang usia kegunaan aset (tempat kerja, bangunan, dan isinya). Hal ini terutama penting di negara berkembang karena kurangnya sumber daya modal untuk penggantian.
2. Menjamin ketersediaan optimum peralatan yang dipasang untuk produksi (atau jasa) dan mendapatkan laba investasi maksimum yang mungkin.
3. Menjamin kesiapan operasional dari seluruh peralatan yang diperlukan dalam keadaan darurat setiap waktu, misalnya unit cadangan, unit pemadam kebakaran, penyelamat, dan sebagainya.
4. Menjamin keselamatan orang yang menggunakan sarana tersebut.

Tujuan utama dibentuknya divisi *maintenance* dalam suatu perusahaan industri adalah untuk menjamin mesin-mesin, bangunan, maupun peralatan lainnya selalu dalam keadaan

yang optimal. Hal ini penting untuk menjamin kelangsungan produksi sehingga dapat membayar kembali modal yang telah diinvestasikan (*capital recovery*) yang pada akhirnya diharapkan akan mendapat keuntungan yang optimal. Divisi *maintenance* merupakan satu kesatuan dengan divisi-divisi lainnya dalam menjalankan fungsi masing-masing. Ketergantungan divisi operasional terhadap maintenance akan semakin besar dengan semakin rumitnya mesin-mesin/ peralatan produksi yang digunakan.

2.2.3 Kebijakan Perawatan

Dalam pelaksanaannya industri mengenal dua kebijakan dasar dari program perawatan yang umum dikenal, yaitu perawatan kerusakan (*corrective maintenance*) dan perawatan pencegahan (*preventive maintenance*). Berikut ini beberapa bentuk kebijakan perawatan, antara lain (Sudradjat, 2011):

1. Perawatan kerusakan (*Corrective Maintenance*)

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

2. Perawatan Pencegahan (*Preventive Maintenance*)

Perawatan pencegahan merupakan perawatan yang dilakukan sebelum terjadi kerusakan mesin. Kebijakan ini cukup baik dapat mencegah berhentinya mesin yang tidak direncanakan. Keuntungan kebijakan pencegahan perawatan terutama akan menjamin keandalan dari sistem tersebut, menjamin keselamatan bagi pemakai, umur pakai mesin menjadi lebih panjang, *down time* proses produksi dapat diperendah. Sedangkan kerugian yang terjadi diantaranya waktu operasi akan banyak terbuang, kemungkinan akan terjadi *human error* dalam proses *assembling* atau lainnya.

3. Perawatan Prediktif (*Predictive Maintenance*)

Perawatan prediktif ini pun merupakan bagian dari perawatan pencegahan. Perawatan prediktif ini dapat diartikan sebagai strategi perawatan dimana pelaksanaannya didasarkan kondisi mesin itu sendiri. Untuk mengetahui kondisi mesin dilakukan tindakan pemeriksaan atau monitoring secara rutin, jika terdapat tanda atau gejala kerusakan segera diambil tindakan perbaikan untuk mencegah kerusakan.

2.3 *Reliability Centered Maintenance (RCM)*

Reliability Centered Maintenance (Moubray, 1997) didefinisikan sebagai suatu proses logika yang digunakan dalam menentukan tindakan yang tepat untuk menjamin aset fisik yang dimiliki perusahaan dapat terus menjalankan fungsinya sesuai yang diharapkan. Penelitian tentang RCM pada dasarnya berusaha menjawab 7 pertanyaan utama tentang aset atau peralatan yang diteliti. Ketujuh pertanyaan mendasar itu antara lain:

1. Apakah fungsi dan hubungan performansi standar dari aset dalam konteks operasional pada saat ini (*system functions*)?
2. Bagaimana aset tersebut rusak dalam menjalankan fungsinya (*functional failure*)?
3. Apa yang menyebabkan terjadinya kegagalan fungsi tersebut (*failure modes*)?
4. Apakah yang terjadi pada saat terjadi kerusakan (*failure effect*)?
5. Bagaimana masing-masing kerusakan tersebut terjadi (*failure consequence*)?
6. Apakah yang dapat dilakukan untuk memprediksi atau mencegah masing-masing kerusakan tersebut (*proactive task and task interval*)?
7. Apakah yang harus dilakukan apabila kegiatan proaktif yang sesuai tidak ditemukan (*default action*)?

Reliability Centered Maintenance lebih menitik beratkan pada penggunaan analisis kualitatif untuk komponen yang dapat menyebabkan kegagalan pada suatu sistem. Pertanyaan 1-4 di atas dituangkan dalam bentuk *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) serta RCM II *worksheet*.

2.3.1 *System Function and Function Failure*

System function adalah fungsi dari item yang diharapkan oleh tetap berada dalam level kemampuan dari *item* tersebut sejak saat dibuat. Sistem perawatan hanya mampu menjaga kondisi *item* tetap berada dibawah initial *capability* dari desain item. Sedangkan *function failure* didefinisikan sebagai kegagalan dari suatu *item* untuk melaksanakan *system function* yang diharapkan.

2.3.2 *Failure Modes*

Setelah mengetahui *function failure*, selanjutnya yang harus dilakukan adalah mengidentifikasi semua peristiwa atau kejadian yang memungkinkan dapat menjadi penyebab terjadinya tiap-tiap kondisi kegagalan (*failed state*). Hal ini dikenal dengan sebutan *failure modes* atau bentuk-bentuk kegagalan. Seringnya setiap daftar bentuk kegagalan disebabkan karena penurunan kemampuan akibat pemakaian. Meskipun demikian, setiap daftar kerusakan juga dapat mencantumkan kegagalan yang disebabkan

karena *human error* (baik karena operator maupun *mainteners*) maupun karena kesalahan desain.

2.3.3 Failure Effect

Langkah keempat dalam proses RCM adalah membuat daftar efek dari kegagalan, yang menjelaskan apa saja yang terjadi ketika *failure mode* berlangsung. Pendeskripsian tersebut harus mencantumkan semua informasi yang dibutuhkan untuk mendukung evaluasi terhadap konsekuensi yang ditimbulkan oleh *failure*, yang meliputi :

- 1 Bukti (jika ada) bahwa *failure* telah terjadi ?
- 2 Dengan cara bagaimana (jika ada) *failure* tersebut mengancam keselamatan dan lingkungan?
- 3 Dengan cara bagaimana (jika ada) *failure* tersebut berakibat pada operasional ?
- 4 Kerusakan fisik seperti apa (jika ada) yang disebabkan oleh *failure*?
- 5 Apa yang dapat dilakukan untuk memperbaiki *failure* tersebut?

2.3.4 Failure Consequences

Pada RCM II, konsekuensi kegagalan diklasifikasikan dalam 4 bagian, yaitu:

1. *Hidden failure consequences*, dimana kegagalan tersebut tidak dapat dibuktikan secara langsung sesaat setelah kegagalan berlangsung.
2. *Safety and environment consequences*, *safety consequences* terjadi apabila sebuah kegagalan fungsi suatu item mempunyai konsekuensi terhadap keselamatan kerja lainnya.
3. *Operational cosequences*, suatu kegagalan dikatakan memiliki konsekuensi operasional ketika berakibat pada produksi atau operasional (*output*, kualitas produk, pelayanan terhadap konsumen atau biaya operasional untuk perbaikan komponen).
4. *Non operational consequences*. Kegagalan tidak mengarah pada konsekuensi keselamatan maupun produksi, kegagalan hanya berpengaruh pada biaya langsung yang ditimbulkan karena perbaikan.

2.3.5 Proactive Task

Tindakan ini diambil sebelum *failure* terjadi, dengan harapan dapat mencegah item atau peralatan mengarah pada kondisi gagal (*failed state*). Hal ini dikenal dengan istilah *Predictive* dan *preventive maintenance*. Sedangkan dalam RCM sendiri digunakan pendekatan *scheduled restoration task*, *scheduled dischard task* serta *scheduled on-condition task*. *Proactive task* dapat menjadi sangat bermanfaat apabila dapat mengurangi konsekuensi kegagalan yang ada. Selain itu juga perlu ditambahkan pula bahwa sebelum

ditentukan bahwa *task* tersebut telah sesuai, juga harus ditentukan bahwa hal tersebut *technically feasible*. *Technically feasible* dimaksudkan bahwa kegiatan yang diberikan memungkinkan atau sesuai diambil untuk dapat menurunkan konsekuensi dari *failure mode* yang ada dan masih dapat diterima atau dijalankan oleh pemilik atau pengguna dari aset tersebut.

2.3.6 Default Action

Tindakan ini diambil setelah tindakan proaktif (*proactivetask*) tidak dapat diberikan dalam menghadapi *failure mode* yang terjadi. *Default action* yang diambil ditentukan berdasarkan konsekuensi yang ditimbulkan oleh *failure*. RCM memberikan tiga kategori utama dalam *default action* sebagai berikut:

1. *Failure-finding*, meliputi tindakan *checking* secara periodik atau dengan interval waktu tertentu terhadap fungsi-fungsi yang tersembunyi (*hidden function*) untuk mengetahui apakah item telah mengalami kerusakan. *Failure finding* dikatakan *technically feasible* jika :
 - a. Kegiatan tersebut memungkinkan untuk dapat dilakukan.
 - b. *Task* yang diberikan tidak semakin meningkatkan resiko terjadinya *multiple failure*.
 - c. *Task* yang diberikan praktis untuk dapat dilakukan pada interval yang telah ditentukan.
2. *Redesign*, yaitu melakukan perubahan terhadap kemampuan sebuah sistem. Mencakup modifikasi atau perubahan terhadap spesifikasi komponen, menambah suatu item baru, memindahkan mesin satu dengan mesin yang berbeda jenis atau tipe atau relokasi sebuah mesin. Hal ini juga dapat berarti dilakukan perubahan terhadap proses atau prosedur.
3. *No scheduled maintenance*, tidak dilakukan usaha yang diaplikasikan untuk mengantisipasi atau mencegah terjadinya *failure mode* sehingga kegagalan dibiarkan saja terjadi dan kemudian diperbaiki. Tindakan ini biasa juga disebut *run-to-failure*. *No-scheduled maintenance* ini baru dapat dilakukan jika :
 - a. *Scheduled task* yang sesuai tidak dapat ditemukan untuk sebuah *hidden function*, dan kegagalan yang ditimbulkan tidak memiliki dampak terhadap *safety* maupun *environment*.
 - b. Biaya efektif (*cost-effective*) yang dikeluarkan untuk kegiatan *preventive task* tidak dapat ditentukan baik untuk dampak operasional maupun non-operasional.

2.3.7 RCM II *Decision Worksheet*

RCM *Decision Worksheet* mengintegrasikan semua proses keputusan kedalam suatu kerangka pemikiran. *Worksheet* ini mengandung informasi mengenai waktu dilaksanakannya perawatan rutin (jika ada) yang harus dilakukan, seberapa sering pelaksanaan perawatan rutin dilakukan, dan pihak yang bertanggung jawab melaksanakan perawatan rutin. Selain itu *worksheet* ini juga memberikan informasi kegagalan mana saja yang berpengaruh sangat besar sehingga mengharuskan dilakukannya desain ulang metode perawatan dan penjelasan mengenai kejadian kegagalan yang terjadi.

Tabel 2.5 menunjukkan Tabel RCM II *Decision Worksheet* dimana terdapat 16 kolom. Tiap kolom diisi dengan ketentuan tersendiri. Ketentuan-ketentuan tersebut adalah:

1. Kolom *information reference* (F, FF dan FM) diisi berdasarkan nomor yang merujuk pada fungsi, kegagalan fungsi, dan penyebab kegagalan peralatan pada tabel FMEA.
 2. Kolom *consequence evaluation* (H, S, E dan O) diisi berdasarkan konsekuensi dari kegagalan yang terjadi. Masing-masing simbol mewakili:
 - a. H adalah *hidden failure consequences*.
 - b. S adalah *safety consequences*.
 - c. E adalah *environmental consequences*.
 - d. O adalah *operational consequences*.
 3. Kolom H1, H2, H3, dll diisi berdasarkan *proactive task* yang dipilih. Masing-masing simbol mewakili:
 - a. H1/S1/O1/N1 adalah tindakan *scheduled on-condition task* yang dipilih.
 - b. H2/S2/O2/N2 adalah tindakan *scheduled restoration task* yang dipilih.
 - c. H3/S3/O3/N3 adalah tindakan *scheduled discard task* yang dipilih.
 4. Kolom *default action* diisi berdasarkan *default action* yang dipilih. Masing-masing simbol mewakili:
 - a. H4 adalah *failure finding*.
 - b. H5 adalah *redesign*.
 - c. H6 adalah *no scheduled maintenance*.
 5. Kolom *proposed task* diisi dengan tindakan yang dipilih (jika ada).
 6. Kolom *initial interval* diisi dengan jangka waktu dilakukannya tindakan yang dipilih.
- Kolom *can be done by* diisi dengan pihak yang melaksanakan.

Tabel 2.2 RCM II *Decision Worksheet*

RCM II <i>Information Worksheet</i>										Sub System:			Facilitator:		
										System:			Auditor:		
Information Reference			Consequence Evaluation				H1	H2	H3	Default Action			Proposed Task	Initial Interval	Can be Done by
							S1	S2	S3						
							O1	O2	O3						
F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4			

Sumber: Moubray, 1997

2.4 Indeks Keefektifan Mesin

Kegiatan operasional pada industri manufaktur tidak dapat lepas dari peran mesin produksi. Dalam penerapannya, keberhasilan kegiatan produksi tentunya harus terukur agar pelaksanaannya tetap terkontrol dan terarah. Terdapat beragam metode pengukuran keefektifan mesin yang dapat digunakan. Nilai indeks yang diperoleh tersebut umumnya digunakan untuk menentukan kebijakan kegiatan *maintenance*. Salah satu metode pelopor dalam mengukur keefektifan mesin adalah *Overall Equipment Effectiveness* (OEE).

2.4.1 *Overall Equipment Effectiveness* (OEE)

Metode pengukuran yang banyak digunakan saat ini adalah *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) karena menurut Nakajima (1988) banyak faktor, baik internal maupun eksternal, yang memengaruhi nilai keefektifan mesin diikutsertakan dalam perhitungannya. Adapun matriks yang digunakan dalam perhitungan indeks OEE antara lain *availability rate* (AR), *performance rate* (PR) dan *rate of quality* (RQ). Perhitungan matriks-matriks tersebut didasarkan pada identifikasi *six big losses* yang merupakan enam kerugian yang harus dihindari oleh setiap perusahaan yang dapat mengurangi tingkat efektifitas suatu mesin (Stephens, 2004). AR merupakan tingkat ketersediaan mesin dalam melakukan kegiatan produksi, dimana dalam pengukurannya akan dipengaruhi oleh *breakdown losses* dan *set-up and adjustment losses*. PR merupakan tingkat efektivitas dari kegiatan produksi, yang dalam pengukurannya dipengaruhi oleh *idling and minor stoppages* dan *speed losses*. Sementara RQ adalah tingkat kemampuan kegiatan produksi dalam menghasilkan *output* yang sesuai standar mutu perusahaan, dalam pengukurannya dipengaruhi oleh *quality defect* dan *yield losses*.

2.4.2 *Equipment Effectiveness* (E)

Dalam perkembangannya, banyak penelitian dilakukan untuk menganalisis metode perhitungan OEE terkait nilai keefektifan mesin produksi yang dihasilkannya. Salah satu peneliti tersebut, Ron (2005), menyebutkan bahwa metode perhitungan OEE kurang

mampu memberikan indeks penilaian yang efektif untuk sebuah mesin. Perhitungan OEE masih dipengaruhi oleh faktor-faktor pendukung yang berada di luar kemampuan mesin yang diteliti sehingga nilai yang dihasilkan menjadi bias dan kurang menggambarkan performa efektivitas mesin tersebut. Oleh sebab itu, perhitungan nilai *Equipment Effectiveness* (E) dibuat untuk membantu OEE dalam menentukan nilai keefektifan pada mesin dengan pengaruh lingkungan yang minimal. Adapun keunggulan metode perhitungan E dibandingkan dengan OEE antara lain (Thiruvengadam, 2009):

1. Menghitung nilai yang bergantung pada kondisi mesin/ *equipment*
2. Mengukur tingkat efektivitas dari *stand-alone equipment*
3. Basis waktu yang digunakan dalam perhitungan adalah *effective time*
4. Tidak bergantung pada besarnya utilitas
5. Dua mesin identik dapat memiliki nilai E yang tidak sama.

Menurut Ron dan Rooda (2004), perhitungan nilai E melibatkan 3 matriks utama, yaitu *yield* (Y), *rate factor* (R), dan *availability* (A). *Yield* diidentifikasi sebagai perbandingan jumlah *qualified output* (N_Q) dengan jumlah *output* produksi keseluruhan (N). *Rate factor* mengindikasikan perbedaan kecepatan aktual operasional mesin dalam menghasilkan *output* (N) dengan kecepatan maksimal mesin (N_{max}). Sementara *availability* didefinisikan sebagai besarnya probabilitas sebuah mesin mampu beroperasi sebagaimana yang diharapkan oleh pihak manajemen. *Availability* dihitung dengan waktu efektif (T_e) yang dibagi dengan waktu produktif (T_o), dimana T_e akan selalu lebih besar dari T_o . Nilai akan E diperoleh dari hasil pengalihan ketiga matriks. Rentang nilai yang dihasilkan dari masing-masing matriks dan E adalah 0 hingga 1. Dimana nilai tersebut akan mengindikasikan sebuah mesin mampu beroperasi secara baik apabila memiliki nilai mendekati 1 dan semakin buruk apabila mendekati nilai 0. Sehingga apabila dituliskan secara matematis akan diperoleh rumusan sebagai berikut:

$$Y = \frac{N_Q}{N} \quad (2-1)$$

$$R = \frac{N}{N_{max}} \quad (2-2)$$

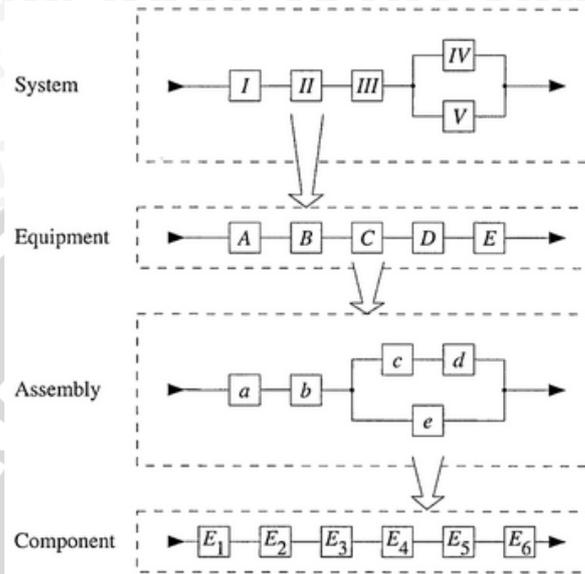
$$A = \frac{T_o}{T_e} \quad (2-3)$$

$$E = A \cdot R \cdot Y \quad (2-4)$$

2.5 Functional Block Diagram (FBD)

Functional block diagram (FBD) merupakan level tertinggi untuk merepresentasikan fungsi-fungsi utama dari suatu sistem dimana setiap blok diberikan nama sesuai dengan

fungsi subsistem dari sistem tersebut (Smith, 2004). FBD digunakan untuk mendeskripsikan sistem kerja dari suatu mesin. Selain itu, FBD merupakan representasi dari fungsi-fungsi utama sistem yang berupa blok-blok yang berisi fungsi-fungsi dari setiap subsistem yang menyusun sistem tersebut. Pembuatan FBD diharapkan dapat memudahkan pada saat mengidentifikasi kegagalan yang terjadi.



Gambar 2.1 *Functional Block Diagram*
Sumber: Birolini, 2010

2.6 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

FMEA telah banyak digunakan di berbagai sektor untuk mengatur resiko. Menurut Dhillon (1992) dalam Daya (2009) penggunaan FMEA pada sekitar tahun 1950 digunakan untuk mendesain sistem kontrol penerbangan. Pemakaian secara formal dimulai di industri dirgantara sekitar tahun 1950, dimana kepedulian terhadap keselamatan penerbangan sangat tinggi. Sasaran awal FMEA adalah mencegah terjadinya kecelakaan yang dapat membahayakan nyawa orang. Pada intinya adalah penggunaan FMEA diharapkan dapat mencegah terjadinya kegagalan dan dampaknya. FMEA merupakan teknik yang digunakan untuk menentukan, mengidentifikasi, dan mengeliminasi masalah, kegagalan, dan lainnya dari sistem, desain, proses dan servis sebelum sampai ke konsumen.

Beberapa istilah yang digunakan dalam FMEA adalah sebagai berikut:

1. Kesalahan (*failure*) adalah kegagalan pada suatu proses atau produk.
2. Kegawatan (*severity*) adalah dampak yang timbul apabila suatu kesalahan (*failure*) terjadi.
3. Kejadian (*occurance*) adalah kemungkinan atau probabilitas atau rekuensi terjadinya kesalahan.

4. Deteksi (*detection*) adalah kemungkinan untuk mendeteksi suatu kesalahan akan terjadi atau sebelum dampak kesalahan tersebut terjadi.
5. Tingkat prioritas risiko (*Risk Priority Number – RPN*) adalah hasil perkalian dari masing-masing tingkat kegawatan kejadian dan deteksi.

Tentunya penggunaan metode FMEA yang dilakukan pada perusahaan mempunyai tujuan tertentu. Tujuan yang dapat dicapai dengan penggunaan metode FMEA, adalah:

1. Dapat mengidentifikasi konsekuensi jika kegagalan terjadi.
2. Dapat mengurutkan tingkat konsekuensi jika kegagalan terjadi.
3. Dapat memberikan arahan kegagalan mana yang sebaiknya diberikan perhatian dan penanganan lebih.

2.6.1 Severity

Severity adalah rating yang mengacu pada besarnya dampak dari suatu *potential failure mode*. Tabel 2.3 menunjukkan tingkat efek dari kriteria *severity* beserta peringkatnya.

Tabel 2.3 Kategori Nilai *Severity*

Efek	Tingkat Keparahan Efek	Peringkat
Berbahaya tanpa peringatan	Tingkat keparahan sangat tinggi ketika jenis kegagalan potensial mempengaruhi keamanan operasi dan/atau tidak sesuai terhadap peraturan yang terjadi tanpa peringatan.	10
Berbahaya dengan peringatan	Tingkat keparahan sangat tinggi ketika jenis kegagalan potensial mempengaruhi keamanan operasi dan/atau tidak sesuai terhadap peraturan yang terjadi dengan peringatan.	9
Sangat tinggi	Produk/item tidak dapat dioperasikan, dengan kehilangan fungsi utama.	8
Tinggi	Produk/item dapat dioperasikan, tetapi pada level performansi yang berkurang. Kostumer merasa tidak puas.	7
Sedang	Produk/item dapat dioperasikan, tetapi membutuhkan <i>rework/repair</i> dan/atau kerusakan pada peralatan.	6
Rendah	Produk/item dapat dioperasikan, tetapi dapat menyebabkan sedikit ketidaknyamanan yang berhubungan dengan operasi.	5
Sangat rendah	Produk/item dapat dioperasikan, tetapi memiliki beberapa cacat (estetika dan sebaliknya) dimana terlihat untuk sebagian pelanggan.	4
Minor	Produk/item dapat dioperasikan, tetapi memiliki beberapa cacat dimana terlihat untuk pelanggan yang dapat membedakan.	3
Sangat minor	Produk/item dapat dioperasikan, tetapi tidak sesuai dengan ketentuan perusahaan.	2
Tidak ada	Tidak ada dampak	1

Sumber: Daya, 2009

2.6.2 Occurance

Occurrence, yakni rating yang mengacu pada berapa banyak frekuensi *potential failure* yang terjadi. Tabel 2.4 menunjukkan kategori *occurrence* beserta peringkatnya.

Tabel 2.4 Kategori Nilai *Occurance*

Probabilitas Kegagalan	Kegagalan	Peringkat
<i>Very high</i> : Kegagalan hampir tidak terelakkan	≥ 1 dalam 2	10
	1 dalam 3	9
<i>High</i> : Kegagalan terjadi secara berulang	1 dalam 8	8
	1 dalam 20	7
<i>Moderate</i> : Kegagalan yang <i>occasional</i> (kadang-kadang)	1 dalam 80	6
	1 dalam 400	5
	1 dalam 2000	4
<i>Low</i> : Kegagalan <i>relative</i> sedikit	1 dalam 15000	3
	1 dalam 150000	2
<i>Remote</i> : Kegagalan sangat kecil kemungkinannya terjadi	≤ 1 dalam 15000000	1

Sumber: Daya, 2009

2.6.3 Detection

Detection mengacu pada kemungkinan metode deteksi yang sekarang. Apakah metode deteksi yang sekarang dapat mendeteksi *potential failure mode* sebelum produk tersebut diproduksi, dari proses desain sampai produk tersebut diproses. Tabel 2.5 menunjukkan berbagai kriteria deteksi beserta peringkatnya.

Tabel 2.5 Kategori Nilai *Detection*

Deteksi	Kriteria	Peringkat
Ketidakpastian absolut	Desain kontrol tidak bisa mencegah dan/atau mendeteksi penyebab/mekanisme potensial mode kegagalan berikutnya; atau tidak ada desain kontrol.	10
Sangat kecil	Kemungkinan desain kontrol sangat sulit untuk mencegah dan/atau mendeteksi penyebab/mekanisme potensial mode kegagalan berikutnya.	9
Kecil	Kemungkinan desain kontrol sulit untuk mencegah dan/atau mendeteksi penyebab/mekanisme potensial dan mode kegagalan berikutnya.	8
Sangat rendah	Kemungkinan desain kontrol sangat rendah untuk mencegah dan/atau mendeteksi penyebab/mekanisme potensial dan mode kegagalan berikutnya.	7
Rendah	Kemungkinan desain kontrol rendah untuk mencegah dan/atau mendeteksi penyebab/mekanisme potensial dan mode kegagalan berikutnya.	6
Sedang	Kemungkinan desain kontrol sedang untuk mencegah dan/atau mendeteksi penyebab/mekanisme potensial dan mode kegagalan berikutnya.	5
Cukup tinggi	Kemungkinan desain kontrol cukup tinggi untuk mencegah dan/atau mendeteksi penyebab/mekanisme potensial dan mode kegagalan berikutnya.	4

Sumber: Daya, 2009

Lanjutan Tabel 2.5 Kategori Nilai *Detection*

Deteksi	Kriteria	Peringkat
Tinggi	Kemungkinan desain kontrol tinggi untuk mencegah dan/atau mendeteksi penyebab/mechanisme potensial dan mode kegagalan berikutnya.	3
Sangat tinggi	Kemungkinan n desain kontrol sangat tinggi untuk mencegah dan/atau mendeteksi penyebab/mechanisme potensial dan mode kegagalan berikutnya.	2
Hampir pasti	Kemungkinan desain kontrol hampir pasti untuk mencegah dan/atau mendeteksi penyebab/mechanisme potensial dan mode kegagalan berikutnya.	1

Sumber: Daya, 2009

2.6.4 Risk Priority Number (RPN)

RPN adalah indikator kekritisitas untuk menentukan tindakan koreksi yang sesuai dengan mode kegagalan. RPN digunakan oleh banyak prosedur FMEA untuk menaksir resiko menggunakan tiga kriteria berikut :

1. Keparahan efek (*severity*) yang disimbolkan dengan huruf S adalah seberapa serius efek akhirnya.
2. Kejadian penyebab (*occurrence*) yang disimbolkan dengan huruf O adalah bagaimana penyebab terjadi dan akibatnya dalam mode kegagalan.
3. Deteksi penyebab (*detection*) yang disimbolkan dengan huruf D adalah bagaimana kegagalan atau penyebab dapat dideteksi sebelum mencapai pelanggan.

Angka prioritas RPN merupakan hasil kali *rating* keparahan (S), kejadian (O), dan deteksi (D). Angka ini hanya menunjukkan *ranking* atau urutan defisiensi desain. Nilai RPN yang tinggi akan membantu memberikan pertimbangan untuk tindakan korektif pada setiap jenis kegagalan.

2.7 Perawatan Preventif

Perawatan preventif dilakukan dengan jadwal yang teratur, sehingga terkadang disebut pula perawatan yang direncanakan. Fungsi penting dari cara perawatan jenis ini adalah menghilangkan penyebab-penyebab kerusakan sebelum kerusakan/ kegagalan terjadi dan menjaga kondisi operasional peralatan serta meningkatkan keandalannya. Pekerjaan perawatan preventif ini dilakukan dengan mengadakan inspeksi, pelumasan dan pengecekan peralatan. Frekuensi inspeksi ditetapkan menurut tingkat kepentingan mesin, tingkat kerusakan dan kelemahan mesin. Adapun pekerjaan dasar perawatan preventif antara lain inspeksi, pelumasan, perencanaan dan penjadwalan, pencatatan dan analisis, pelatihan bagi teknisi, dan penyimpanan suku cadang.

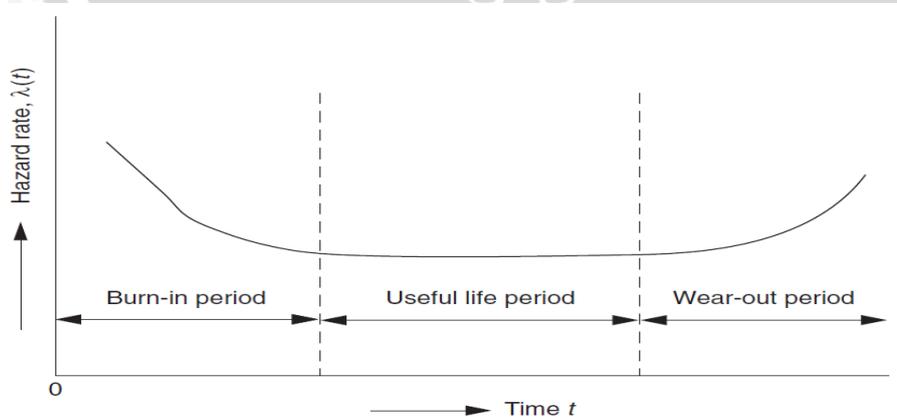
Aktivitas utama dari perawatan preventif lebih menitikberatkan pada inspeksi secara periodik dan pemulihan kondisi mesin secara cepat terhadap mesin atau peralatan yang tidak normal sebelum terjadi kerusakan atau merugikan (Sudrajat, 2011). Ciri dari kebijakan ini terlihat dari dilakukannya inspeksi secara periodik dan adanya perencanaan yang sistematis. Tujuan perawatan pencegahan diarahkan untuk memaksimalkan *availability*, dan meminimalkan ongkos melalui peningkatan *reliability*. Perawatan preventif dibagi menjadi dua kegiatan:

1. Perawatan rutin, yaitu kegiatan perawatan yang dilakukan secara rutin (pembersihan fasilitas dan peralatan, pemberian minyak pelumas, atau pengecekan oli, dan lain-lain)
2. Perawatan periodik, yaitu kegiatan perawatan yang dilakukan secara berkala. Perawatan berkala dilakukan berdasarkan lamanya jam kerja mesin produk tersebut sebagai jadwal kegiatan, misalnya setiap seratus jam sekali.

2.7.1 Konsep Kegagalan (*Failure*)

Kegagalan dapat diartikan sebagai suatu peristiwa dimana sebuah sistem tidak mampu beroperasi sebagaimana mestinya. Dalam pengaplikasiannya, kegagalan memiliki karakteristik yang terbagi ke dalam 3 tahap yang biasa disebut *bathup curve*. Ketiga tahap tersebut adalah:

1. Kegagalan awal di saat tahapan *burn-in period*, umumnya terjadi pada awal pengoperasian suatu aset, dan ditandai dengan laju kerusakan yang menurun
2. Kegagalan acak di saat tahapan *useful life*, umumnya terjadi pada saat aset sudah beroperasi normal, dan ditandai dengan laju kerusakan yang konstan
3. Kegagalan usang di saat tahapan *wear-out period*, umumnya terjadi karena faktor usia ekonomis suatu aset yang sudah usang. Untuk mengurangi dampak keusangan ini biasanya dilakukan penggantian aset.



Gambar 2.2 *Bathtub Curve*
Sumber: Dhillon, 2002

2.7.1.1 Fungsi Kegagalan

Fungsi kegagalan menitikberatkan pada laju kegagalan, dimana laju kegagalan (λ) adalah banyaknya kegagalan persatuan waktu tertentu. Laju kegagalan dapat dinyatakan sebagai perbandingan antara banyaknya kegagalan yang terjadi selama selang waktu tertentu dengan total waktu operasi komponen, sub-sistem maupun sistem (Sa'adah, 2011):

$$\lambda = \frac{f}{T}$$

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

Dimana : f = banyak kegagalan selama jangka waktu operasi.

T = total waktu operasi.

Fungsi laju kegagalan digunakan untuk mendeskripsikan perilaku komponen yang tidak dapat memenuhi fungsinya pada suatu sistem, serta peluang komponen untuk gagal pada interval waktu berikutnya.

2.7.1.2 Distribusi Probabilitas Kegagalan

Waktu terjadinya kerusakan setiap peralatan merupakan variabel *random*. Sebelum menghitung nilai probabilitas keandalan suatu mesin maka perlu diketahui secara statistik distribusi yang umum digunakan. Berikut merupakan model statistik distribusi kegagalan:

1. Distribusi Eksponensial

Menurut Ebellling (1997), jika peralatan yang memiliki laju kerusakan tetap maka dapat dipastikan termasuk dalam distribusi eksponensial. Distribusi ini banyak digunakan dalam pekerjaan keandalan dan *maintenance* karena mudah dalam menganalisis analisis *failure rate* yang konstan dari suatu item terutama perangkat elektronik. Parameter distribusi eksponensial adalah λ (laju kerusakan). Menurut Ebellling (1997), fungsi-fungsi distribusi eksponensial ialah:

a. Fungsi kepadatan peluang

$$f(t\lambda) = \lambda_{exp}(-\lambda t) \quad (2-6)$$

$$f(t) = \lambda e^{(-\lambda t)}; \text{ untuk } t \geq 0, \lambda \geq 0, \text{ dan dengan } t = \text{waktu} \quad (2-7)$$

b. Fungsi distriusi kumulatif

$$F(t) = 1 - \exp(-\lambda t) \quad (2-8)$$

$$F(t) = 1 - e^{(-\lambda t)} \quad (2-9)$$

c. Fungsi keandalan

$$R(t) = e^{(-\lambda t)} \quad (2-10)$$

d. Fungsi laju kerusakan

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \lambda \quad (2-11)$$

e. MTTF distribusi eksponensial

$$\text{MTTF} = \frac{1}{\lambda} \quad (2-12)$$

2. Distribusi *Weibull*

Distribusi *Weibull* merupakan distribusi yang muncul hampir pada semua karakteristik kegagalan produk. Distribusi *Weibull* sering dipakai sebagai pendekatan untuk mengetahui karakteristik fungsi kerusakan karena perubahan nilai akan mengakibatkan distribusi *Weibull* mempunyai sifat tertentu ataupun ekuivalen dengan distribusi tertentu. Menurut Ebellling (1997), fungsi-fungsi distribusi *Weibull* ialah:

a. Fungsi kepadatan peluang

$$f(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} \quad (2-13)$$

b. Fungsi distriusi kumulatif

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} \quad (2-14)$$

c. Fungsi keandalan

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} \quad (2-15)$$

d. Fungsi laju kerusakan

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} \quad (2-16)$$

e. MTTF distribusi *Weibull*

$$\text{MTTF} = \theta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (2-17)$$

3. Distribusi Normal

Bentuk distribusi normal menyerupai lonceng sehingga memiliki nilai simetris terhadap nilai rata-rata terhadap dua parameter bentuk yaitu, μ (nilai tengah) dan σ (standar deviasi). Parameter μ (nilai tengah) memiliki sembarang nilai, positif maupun negatif. Sedangkan parameter σ (standar deviasi) selalu memiliki nilai positif (Ebellling, 1997). Menurut Ebellling (1997), fungsi-fungsi distribusi Normal ialah:

a. Fungsi kepadatan peluang

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (2-18)$$

b. Fungsi distriusi kumulatif

$$F(t) = \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \quad (2-19)$$

c. Fungsi keandalan

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \quad (2-20)$$

d. Fungsi laju kerusakan

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1 - \Phi\left(\frac{t - \mu}{\sigma}\right)} \quad (2-21)$$

e. MTTF distribusi Normal

$$\text{MTTF} = \mu \quad (2-22)$$

4. Distribusi Lognormal

Distribusi lognormal memiliki dua parameter yaitu parameter berbentuk (s) dan parameter lokasi (t_{med}). Seperti distribusi *Weibull* distribusi lognormal memiliki bentuk yang bervariasi yang sering terjadi biasanya data yang dapat didekati dengan distribusi *Weibull* juga bisa didekati dengan distribusi lognormal.

Fungsi-fungsi dari distribusi lognormal, yaitu:

a. Fungsi kepadatan peluang

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}st} e^{\left(-\frac{1}{2s^2}\left(\ln\frac{t}{t_{\text{med}}}\right)^2\right)} \text{ untuk } t \geq 0 \quad (2-23)$$

b. Fungsi distribusi kumulatif

$$F(t) = \Phi\left(\frac{1}{s} \ln\frac{t}{t_{\text{med}}}\right) \quad (2-24)$$

c. Fungsi keandalan

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{1}{s} \ln\frac{t}{t_{\text{med}}}\right) \quad (2-25)$$

d. Fungsi laju kerusakan

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1 - \Phi\left(\frac{1}{s} \ln\frac{t}{t_{\text{med}}}\right)} \quad (2-26)$$

e. MTTF distribusi Lognormal

$$\text{MTTF} = t_0 \exp\left(\frac{\alpha^2}{2}\right) \quad (2-27)$$

2.7.2 Konsep Keandalan

Adanya konsep tentang keandalan dapat membantu dalam hal pemecahan masalah-masalah yang berkaitan dengan manajemen perawatan. Sebagai contoh dalam sebuah industri bila pihak manajemen perawatan dapat memperkirakan tingkat keandalan dari peralatan, maka akan diketahui kapan sebaiknya dilakukan pergantian komponen sehingga proses produksi dapat berjalan dengan lancar. Sehingga dapat mengurangi biaya kerugian akibat *loss production* yang disebabkan oleh terhentinya kegiatan produksi karena mesin yang berhenti (*line stop*) diakibatkan adanya kerusakan komponen. Keandalan sebuah sistem akan terpengaruh dari kegagalan-kegagalan yang muncul pada suatu periode waktu. Keandalan (*Reliability*) adalah peluang sebuah komponen mesin atau produk akan

berfungsi dengan benar selama waktu tertentu dalam kondisi-kondisi tertentu (Heizer dan Render, 2010). Keandalan adalah probabilitas suatu item dalam menjalankan fungsinya secara memuaskan selama periode waktu tertentu dan digunakan atau dioperasikan dalam kondisi yang semestinya (Dhillon, 2006). Sehingga dapat disimpulkan bahwa keandalan ialah probabilitas umur item dalam menjalankan fungsinya, yang mengacu pada variabel waktu yang dipengaruhi oleh kegagalan.

2.7.2.1 Fungsi Keandalan

Keandalan dari suatu komponen atau sistem adalah probabilitas untuk tidak mengalami kegagalan atau dapat melaksanakan fungsinya selama periode waktu (t) atau lebih. Fungsi keandalan terhadap waktu dapat dinyatakan sebagai berikut (Sa'adah, 2011):

$$\begin{aligned} R(t) &= 1 - F(t) \\ &= \int_0^{\infty} f(t)dt \end{aligned} \quad (2-28)$$

Dimana: $f(t)$ = fungsi padat peluang

$F(t)$ = probabilitas kegagalan

$R(t)$ = keandalan (*reliability*)

2.7.2.2 Mean Time to Failure (MTTF)

Mean Time To Failure adalah waktu rata-rata di antara dua kegagalan. Dalam banyak analisis, laju kegagalan biasanya dinyatakan tetap (tidak berubah terhadap waktu).

$$MTTF = \frac{\text{waktu operasi}}{\text{jumlah kegagalan}} \quad (2-29)$$

$$MTTF = \int_t^{\infty} tf(t)dt = \int_t^{\infty} R(t)dt \quad (2-30)$$

2.7.2.3 Mean Time to Repair (MTTR)

Mean Time To Repair merupakan waktu rata-rata yang digunakan untuk melakukan perbaikan. Waktu rata-rata untuk memperbaiki peralatan agar dapat beroperasi kembali, meliputi: waktu pemberitahuan, waktu pemindahan, waktu diagnosa, waktu perbaikan, waktu tunggu (untuk suku cadang), waktu perakitan kembali, dan waktu pengetesan. MTTR juga mengukur berapa lama operasi akan keluar dari produksi, yang mengindikasikan efek pada perawatan terhadap laju produksi. MTTR dapat dirumuskan sebagai berikut (Sudradjat, 2011):

$$MTTR = \frac{\text{total waktu terhentinya alat akibat kerusakan (tidak terjadwal)}}{\text{jumlah kerusakan}} \quad (2-31)$$

2.7.2.4 Goodness of Fit

Goodness-of-Fit Test yang disebut juga uji kecocokan adalah suatu tes yang digunakan untuk membandingkan distribusi frekuensi pengamatan dan pencocokan nilai yang diharapkan atau teori-teori distribusi. Tekniknya adalah dengan menggunakan tipe yang ada pada *goodness-of-fit test*. Penggunaan dari tes tersebut adalah untuk menguji apakah terdapat perbedaan yang cukup signifikan antar banyaknya sampel yang diamati dari objek yang masuk dalam masing-masing kategori dengan banyaknya yang diharapkan berdasarkan H_0 .

Menurut Ebeling (1997) terdapat dua jenis *goodness-of-fit test* yaitu *general test* yang dapat digunakan untuk lebih dari satu jenis distribusi dan *specific test* yang digunakan hanya untuk satu jenis distribusi saja. Distribusi statistik yang paling sering muncul dalam kasus kegagalan umumnya berupa distribusi Normal, Lognormal dan Weibull. Guna melakukan pengujian statistik pada suatu kumpulan data, dapat digunakan Man's Test untuk data kegagalan berdistribusi Weibull, serta Kolmogorov-Smirnov's Test untuk data berdistribusi Normal dan Lognormal.

2.7.2.4.1 Mann's Test

Man's Test adalah uji statistik yang digunakan jika dugaan distribusi awal adalah distribusi *Weibull*. Menurut Ebeling (1997:400), hipotesa dalam uji ini adalah :

H_0 = Data kerusakan berdistribusi *Weibull*

H_1 = Data kerusakan tidak berdistribusi *Weibull*

Rumus uji statistiknya adalah :

$$M = \frac{k1 \sum_{i=k1+1}^{r-1} \frac{(\ln_{ti+1} ti)}{Mi}}{k2 \sum_{i=k1+1}^{r-1} \frac{(\ln_{ti+1} - ti)}{Mi}} \quad (2-32)$$

Dimana :

$$k1 = \frac{r}{2} ; k2 = \frac{r-1}{2} \quad (2-33)$$

$$Mi = Z_{i+1} - Z_i \quad (2-34)$$

$$Z_i = \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{i-0,5}{n+0,25} \right) \right] \quad (2-35)$$

Jika nilai $M < M_{critic}$ maka H_0 diterima. Nilai M_{critic} diperoleh dari tabel F dengan $v_1 = 2k1$ dan $v_2 = 2k2$

2.7.2.4.2 Kolmogorov Smirnov's Test

Kolmogorov-Smirnov adalah uji statistik yang digunakan jika distribusi dugaan awal adalah distribusi lognormal atau normal. Menurut Ebeling (1997:402), hipotesa untuk melakukan uji ini adalah :

H_0 = Data kerusakan berdistribusi Normal atau Lognormal

H_1 = Data kerusakan tidak berdistribusi Normal atau Lognormal

Rumus uji statistiknya adalah :

$$D_n = \max\{D1, D2\} \quad (2-36)$$

Dimana untuk distribusi normal sebagai berikut :

$$D_1 = \max_{1 \leq i \leq n} \left\{ \Phi \left(\frac{t_i - t}{s} \right) - \frac{i-t}{n} \right\}; D_2 = \max_{1 \leq i \leq n} \left\{ \frac{1}{n} - \Phi \left(\frac{\ln t_i - t}{s} \right) \right\} \quad (2-37)$$

$$t = \sum_{i=1}^n \frac{t_i}{n}; S^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(t_i - t)^2}{n} \quad (2-38)$$

Dimana untuk distribusi lognormal sebagai berikut :

$$D_1 = \max_{1 \leq i \leq n} \left\{ \Phi \left(\frac{\ln t_i - t}{s} \right) - \frac{i-t}{n} \right\}; D_2 = \max_{1 \leq i \leq n} \left\{ \frac{1}{n} - \Phi \left(\frac{\ln t_i - t}{s} \right) \right\} \quad (2-39)$$

$$t = \sum_{i=1}^n \frac{\ln t_i}{n}; S^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(\ln t_i - t)^2}{n} \quad (2-40)$$

Dimana : t_i = Data waktu kerusakan ke-i

s = standar deviasi

Cumulative Probability $\Phi \left(\frac{\ln t_i - t}{s} \right)$ atau $\Phi \left(\frac{t_i - t}{s} \right)$ diperoleh dari tabel standarisasi probabilitas normal dan lognormal. Jika nilai $D_n < D_{Eric}$ maka H_0 diterima. Nilai D_{Eric} diperoleh dari tabel *critical value for Kolmogorov-Smirnov Test for Normality*

2.7.3 Biaya Perawatan

2.7.3.1 Perhitungan Biaya

Biaya-biaya yang berkaitan dengan perawatan adalah biaya tenaga kerja dan biaya perbaikan, biaya komponen pengganti, dan biaya konsekuensi yang timbul akibat kegagalan. Struktur biaya yang tercakup dalam perawatan diuraikan sebagai berikut:

a. Biaya konsekuensi operasional (C_O)

Merupakan biaya kerugian produksi atau keuntungan yang hilang karena mesin tidak berproduksi. Ini dapat terjadi karena kerusakan mesin atau perawatan.

$$C_O = \text{harga produksi per jam} \times \text{harga produk per satuan} \quad (2-41)$$

b. Biaya perbaikan (C_R)

Biaya yang dikeluarkan untuk perbaikan komponen yang mencakup biaya penggantian komponen, biaya tenaga kerja dan biaya konsekuensi operasional.

$$C_R = C_F + \text{MTTR} (C_O + C_W) \quad (2-42)$$

Keterangan: C_F = biaya penggantian komponen akibat kerusakan (Rp)

C_W = biaya tenaga kerja (Rp/jam)

C_O = biaya konsekuensi operasional (Rp/jam)

MTTR = *Mean Time To Repair* (jam)

c. Biaya perawatan (C_M)

Biaya perawatan yang dikeluarkan oleh perusahaan secara rutin untuk perawatan mesin seperti biaya pelumas sistem.

2.7.3.2 Model Matematis Biaya Perawatan

Salah satu kelemahan dalam metode RCM adalah kurangnya unsur optimasi model untuk menentukan interval perawatan yang optimal. Havard J. Thevik (2000) mengatakan bahwa model matematis akan sangat mendukung dalam kalkulasi usia pakai dan penentuan waktu optimal peralatan. Di dalam jurnalnya, dilukiskan bahwa kurva biaya total perawatan dengan usia pakai peralatan akan membentuk kurva parabolis dimana interval peralatan optimum berada pada nilai maksimum kurva. Total biaya perawatan merupakan penjumlahan kumulatif biaya kegagalan dan biaya perawatan, maka dapat dihitung:

$$T_C = C_R f_R + C_M f_M$$

$$T_C = C_R \left[\frac{1}{T_M} \int_0^{T_M} \lambda(t) dt \right] + C_M \left[\frac{1}{T_M} \right]$$

$$T_C = \frac{1}{T_M} \left[\left(C_R \int_0^{T_M} \lambda(t) dt \right) + C_M \right] \quad (2-43)$$

Jika data berdistribusi Weibull, maka total biaya perawatannya adalah:

$$T_C = \frac{C_R}{\beta^\alpha} T_M^{\alpha-1} + \frac{C_M}{T_M} \quad (2-44)$$

Untuk memperoleh T_C minimum maka $\frac{dT_C}{dT_M} = 0$ sehingga diperoleh:

$$T_M = \theta \left[\frac{1}{(\beta-1)} \times \frac{C_M}{C_R - C_M} \right]^{\frac{1}{\beta}} \text{ (jam)} \quad (2-45)$$

Keterangan:

C_R = Biaya perbaikan atau penggantian karena rusaknya komponen untuk setiap siklus perawatan

C_M = Biaya yang dikeluarkan untuk perawatan per siklus

T_M = Interval waktu perawatan optimal (*preventive maintenance*) dalam jam

f_R = Frekuensi perbaikan per jam

f_M = Frekuensi perawatan per jam

T_C = Biaya total perawatan

C_O = Biaya konsekuensi operasional atau biaya kerugian per jam

C_W = Biaya tenaga kerja *corrective maintenance* per jam

2.8 Identifikasi Hipotesis Penelitian

Dalam melakukan penelitian ilmiah, salah satu elemen penting yang menunjang dan mampu memberi arahan dalam selama proses penelitian adalah memunculkan praduga

hasil akhir penelitian atau hipotesis. Hipotesis yang dimunculkan pada penelitian didasarkan pada rumusan masalah yang telah ditentukan oleh peneliti yang ditunjang dengan tinjauan pustaka sebagai dasar pendugaan. Terdapat 3 hipotesis dalam penelitaian “Analisis Keefektifan dan Perancangan Kegiatan Perawatan dengan Pendekatan *Reliability Centered Maintenance* (RCM) II pada Mesin Nordenmatic” antara lain yang pertama adalah nilai keefektifan mesin pada Mesin Nordenmatic berdasarkan perhitungan metode *equipment effectiveness* diduga menunjukkan indeks yang rendah. Hal ini dikarenakan tingginya frekuensi kasus kegagalan mesin selama tahun 2013. Sebab *downtime* mesin yang semakin tinggi akan berdampak pada nilai *Availability* mesin yang semakin rendah.

Hipotesis kedua dalam penelitian ini adalah penyebab terjadinya kasus kegagalan pada Mesin Nordenmatic diduga terletak pada komponen-komponen dengan frekuensi kegagalan tertinggi. Komponen-komponen tersebut, berdasarkan informasi pada Gambar 1.2, antara lain *eyemark sensor*, *motherboard*, *cutter*, *bushing* dan *coding*. Komponen-komponen Mesin Nordenmatic tersebut memiliki frekuensi kasus kegagalan yang tinggi selama tahun 2013. Dalam menganalisis komponen mana saja yang dapat digolongkan sebagai komponen kritis, digunakan perhitungan *Risk Priority Number* (RPN) pada metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA).

Sedangkan hipotesis penelitian yang terakhir adalah dengan menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* II dapat memberikan dampak dan usulan aktivitas perawatan preventif pada Mesin Nordenmatic yang lebih terperinci. Sebab melalui RCM II *decision worksheet* dapat diperoleh informasi instruksi perawatan yang tepat saat terjadi kasus kegagalan dengan estimasi interval perawatan pada masing-masing komponen mesin Nordenmatic yang diteliti.