

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisi landasan-landasan teori yang relevan dengan pokok permasalahan, antara lain *maintenance*, *Reliability Centered Maintenance II*, dan model matematis perawatan. Teori-teori ini nantinya akan digunakan sebagai kerangka berpikir dalam penentuan langkah-langkah pemecahan masalah.

2.1 PENELITIAN SEBELUMNYA

Berdasarkan studi pendahuluan yang telah dilakukan, peneliti menemukan penelitian terdahulu yang relevan dengan penelitian ini. Beberapa penelitian tersebut adalah sebagai berikut.

1. Hendro Asisco (2012) dalam penelitian yang berjudul “Usulan Perencanaan Perawatan Mesin dengan Menggunakan Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) di PT. Perkebunan Nusantara VII (Persero) Unit Usaha Sungai Niru Kab. Muara Enim”. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengusulkan sistem perawatan mesin menggunakan metode *reliability centered maintenance*. Metode RCM diharapkan dapat menetapkan *schedule maintenance* dan dapat mengetahui secara pasti tindakan kegiatan perawatan (*maintenance task*) yang harus dilakukan pada setiap komponen mesin.
2. Sang Aji (2012) dalam penelitian yang berjudul “Perancangan Kegiatan Perawatan dengan Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) di Unit *Crusher* PT. Semen Gresik (Persero Tbk.)”. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui komponen mesin yang kritis, mengidentifikasi kegagalan unit *crusher* dan memberikan penilaian prioritas resiko kegagalan pada komponen mesin *crusher*, menentukan metode perawatan yang tepat, serta menentukan biaya perawatan yang optimal.
3. Syahril Ashadi Pratama (2013) dalam penelitian yang berjudul “Penerapan Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) II pada Mesin *Rotary Kiln* terhadap Produktivitas Semen di PT. Semen Gresik (Persero) Tbk”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penerapan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) II terhadap produktivitas semen pada mesin *Rotary Kiln*. Metode yang digunakan adalah FMEA dan RCM II.

4. Agustinus Romy Niasputra (2013) dalam penelitiannya yang berjudul “Penerapan Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) pada perencanaan perawatan *Water Cooling Sistem* di PT. PJB (Pembangkit Jawa Bali) UP Brantas”. Penelitian ini bertujuan untuk merencanakan kegiatan perawatan yang sesuai dengan fungsi dan sistem (komponen) melalui analisis terhadap dampak yang ditimbulkan oleh suatu kegagalan dengan menggunakan tabel FMEA dan RCM II *Decision Diagram*. Berdasarkan hasil yang diperoleh, prioritas kegiatan perawatan yang dapat dilakukan terhadap masing-masing komponen kritis dari Unit *Water Cooling System* adalah *Scheduled On-Condition Task* dan *Scheduled Discard Task*.

Tabel 2. 1 Penelitian Sebelumnya

No.	Penulis	Metode	Obyek Penelitian	Output Penelitian
1.	Hendro Asisco, et al (2012)	LTA, FMEA, RCM	PT. Perkebunan Nusantara VII (Persero)	Menetapkan tindakan perawatan (<i>maintenance task</i>) pada yang harus dilakukan pada setiap komponen
2.	Sang Aji (2012)	FTA, FMEA, RCM	PT. Semen Gresik (Persero Tbk.)	<ul style="list-style-type: none"> Mengetahui komponen kritis Menentukan metode perawatan yang tepat Menentukan biaya optimal
3.	Syahrial Ashadi Pratama (2013)	FTA, FMEA, RCM II	PT. Semen Gresik (Persero) Tbk	Mengetahui pengaruh metode <i>Reliability Centered Maintenance</i> (RCM) II terhadap produktivitas semen
4.	Agustinus Romy Niasputra (2013)	FBD, FMEA, RCM II	PT. PJB (Pembangkit Jawa Bali) UP Brantas	Prioritas kegiatan perawatan pada komponen kritis
5.	Penelitian ini	FBD, FMEA, RCM II	PT. YTL Paiton	<ul style="list-style-type: none"> Interval waktu perawatan Biaya perawatan optimal

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui interval waktu perawatan, menentukan biaya perawatan optimal, serta jenis perawatan yang efektif terhadap mesin *pulverizer* di PT. YTL Paiton. Metode yang akan diaplikasikan di dalam penelitian ini adalah *Functional Block Diagram*, *Failure Mode and Effect Analysis*, dan *Reliability Centered Maintenance* II. Berdasarkan penerapan metode tersebut maka diharapkan mesin *pulverizer* di PT. YTL Paiton dapat bekerja dengan tingkat efektivitas dan efisiensi yang lebih tinggi.

2.2 MAINTENANCE

Maintenance dapat didefinisikan sebagai semua aktivitas yang diperlukan untuk menjaga sistem dan semua komponennya tetap bekerja seperti semestinya (Stephens, 2004:3). Pemeliharaan sebagai salah satu kegiatan pendukung yang bertujuan untuk menjamin kelangsungan fungsional suatu sistem produksi (peralatan, mesin, dan fasilitas lainnya), sehingga pada saat dibutuhkan dapat dipakai sesuai dengan kondisi yang diharapkan (Blancard, 1992:18). Blancard menambahkan bahwa kondisi di atas dapat tercapai dengan melakukan perencanaan penjadwalan tindakan perawatan dengan tetap memperhatikan fungsi pendukungnya dengan kriteria meminimalisir biaya.

Tujuan dari semua program *maintenance* menurut Sofyan Assauri (2004:7) didefinisikan sebagai berikut.

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

Penjelasan di atas diperkuat oleh Stephens (2004:3), program *maintenance* bertujuan untuk dapat menjaga atau memelihara kemampuan atau kapabilitas dari sebuah sistem dengan mempertimbangkan pengendalian biaya. Komponen-komponen dari biaya tersebut adalah sebagai berikut:

1. Biaya tenaga kerja *maintenance* dan material.
2. Biaya kerugian produksi (*loss production cost*) yang disebabkan karena penerapan program *maintenance* yang tidak efektif.

2.3 JENIS-JENIS MAINTENANCE

Menurut H. P. Garg (1987) secara garis besar pemeliharaan (*maintenance*) diklasifikasikan menjadi dua bagian.

1. *Planned Maintenance*, suatu tindakan atau kegiatan perawatan yang pelaksanaannya telah direncanakan terlebih dahulu. Dengan *planned maintenance* diharapkan akan merubah sistem perawatan dari reaktif menjadi proaktif dan memberdayakan bagian perawatan untuk dapat membantu operator untuk melakukan perawatan yang lebih baik terhadap peralatan atau mesin yang menjadi tanggung jawabnya.
2. *Unplanned Maintenance*, suatu tindakan atau kegiatan perawatan yang pelaksanaannya tidak direncanakan atau tidak dijadwalkan sebelumnya (*unexpected*).

2.3.1 *Corrective Maintenance (CM)*

Menurut Patrick (2001:401) *corrective maintenance (CM)* merupakan kegiatan perawatan yang dilakukan setelah mesin atau fasilitas produksi mengalami kerusakan. Kerusakan tersebut menyebabkan mesin tidak dapat berfungsi dengan baik. Kegiatan CM ini sering disebut dengan kegiatan reparasi atau perbaikan. CM biasanya tidak dapat kita rencanakan, karena hanya bisa diperbaiki setelah terjadi kerusakan. Perbaikan dilakukan karena adanya kerusakan akibat tidak dilakukannya *preventive maintenance* maupun telah diterapkannya *preventive maintenance*. Akan tetapi, fasilitas produksi atau peralatan akan tetap rusak jika masa pakainya habis. Kegiatan *corrective maintenance* bersifat perbaikan, yaitu menunggu sampai kerusakan muncul. Setelah itu kerusakan yang muncul diperbaiki agar fasilitas produksi maupun peralatan yang ada dapat digunakan kembali. Sehingga proses produksi mesin dapat berjalan dengan lancar.

2.3.2 *Preventive Maintenance (PM)*

Menurut Patrick (2001:401) *preventive maintenance* adalah kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan untuk mencegah timbulnya kerusakan-kerusakan yang tidak terduga. Selain itu juga menemukan kondisi atau keadaan yang dapat menyebabkan fasilitas produksi mengalami kerusakan pada saat proses produksi. Jadi, semua fasilitas produksi yang mendapatkan perlakuan *preventive maintenance* akan terjamin optimasi kerjanya. Dan selalu diusahakan dalam kondisi atau keadaan yang siap dipergunakan untuk setiap operasi atau proses produksi pada setiap saat.

Oleh karena itu, dimungkinkan pembuatan suatu jadwal pemeliharaan dan perawatan yang sangat cermat dan rencana produksi yang lebih tepat. *Preventive maintenance* ini sangat penting karena kegunaannya yang sangat efektif dalam

menghadapi fasilitas-fasilitas produksi yang termasuk dalam golongan *critical unit* apabila:

1. Kerusakan fasilitas produksi akan menyebabkan kemacetan seluruh proses produksi.
2. Kerusakan fasilitas produksi ini akan mempengaruhi kualitas dari produk yang dihasilkan.
3. Kerusakan fasilitas produksi atau peralatan tersebut akan membahayakan kesehatan atau keselamatan para pekerja.
4. Modal yang ditanamkan dalam fasilitas tersebut atau harga dari fasilitas ini sudah cukup besar (mahal).

Apabila *preventive maintenance* dilaksanakan pada fasilitas-fasilitas atau peralatan yang termasuk dalam *critical unit*. Maka tugas dari *maintenance* dapat dilakukan dengan suatu perencanaan yang intensif untuk unit yang bersangkutan. Sehingga rencana produksi dapat dicapai dengan jumlah hasil produksi yang lebih besar dalam waktu yang relatif singkat.

2.3.3 Predictive Maintenance

Menurut Dhillon (2010:81) *predictive Maintenance* merupakan perawatan yang bersifat prediksi, hal tersebut merupakan evaluasi dari perawatan berkala (*preventive maintenance*). Pendeteksian ini dapat dievaluasi dari indikator-indikator yang terpasang pada instalasi suatu alat dan juga dapat melakukan pengecekan vibrasi dan *alignment* untuk menambah data dan tindakan perbaikan selanjutnya.

2.4 RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE II

Pada dasarnya *reliability centered maintenance* (RCM) digunakan untuk menentukan suatu metode perawatan yang paling efektif. Menurut Moubray (1997:7), *reliability centered maintenance* merupakan suatu proses yang digunakan untuk menentukan tindakan yang harus dilakukan dalam menjamin suatu aset fisik agar berjalan dengan dan baik sesuai dengan yang di inginkan oleh perusahaan. Metode ini dapat mengidentifikasi langkah perawatan yang diperlukan suatu mesin untuk mencegah terjadinya kegagalan komponen atau sistem yang telah dibuat oleh perusahaan tersebut dapat bekerja sesuai fungsinya dan dapat berjalan dengan baik, dengan biaya yang seefisien mungkin dan dapat mencapai tingkat yang diharapkan (Dhillon, 1999:160).

Keunggulan yang dimiliki oleh metode *reliability centered maintenance* II adalah sebagai berikut.

1. Teknik manajemen perawatan yang mengkombinasikan dua jenis tindakan yaitu *preventive maintenance* dan *predictive maintenance*. *Preventive maintenance* merupakan suatu kegiatan pemeriksaan secara periodik terhadap aset dan peralatan dengan tujuan untuk mengetahui kondisi yang menyebabkan kerusakan, serta menjaga aset atau peralatan yang telah mengalami kerusakan dengan jalan memperbaiki dan menyetelnya sebelum terjadi kerusakan. Sedangkan *predictive maintenance* merupakan pemeliharaan yang berdasar pada pengukuran kondisi suatu peralatan agar apabila peralatan tersebut gagal di masa yang akan datang telah diambil suatu tindakan untuk menghindari kegagalan tersebut. Pengertian tersebut dapat juga diartikan pemeliharaan berdasarkan penilaian atau analisis kondisi dari komponen-komponen mesin secara keseluruhan.
2. Menggabungkan analisis kualitatif dan kuantitatif dalam merencanakan aktivitas pemeliharaan.
3. RCM II merupakan hasil pengembangan RCM sebelumnya. Modifikasi dilakukan pada bagian *decision diagram* RCM yang mempertimbangkan *safety* dan *environmental consequences*.

Penelitian tentang RCM pada dasarnya akan menjawab 7 pertanyaan utama tentang aset atau peralatan yang diteliti (Moubray, 1997:7). Tujuh pertanyaan dasar tersebut adalah sebagai berikut.

1. Apakah fungsi dan hubungan performansi standar dari item dalam konteks pada saat ini (*system function*)?
2. Bagaimana item/peralatan tersebut rusak dalam menjalankan fungsinya (*functional failure*)?
3. Apa yang menyebabkan terjadinya kegagalan fungsi tersebut (*failure mode*)?
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 kegagalan tersebut (*proactive task and task interval*)?
7. Apakah yang harus dilakukan apabila kegiatan proaktif yang sesuai tidak berhasil ditemukan?

Reliability Centered Maintenance (RCM) merupakan suatu metode yang lebih menitikberatkan pada penggunaan analisis kualitatif untuk komponen yang dapat menyebabkan kegagalan pada suatu sistem. Ketujuh pertanyaan diatas nantinya akan dituangkan dalam bentuk *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* dan *RCM II Decision Diagram* (tabel 2.2) yang tergabung dalam *RCM Worksheet*.

Tabel 2. 2 RCM II Decision Worksheet

RCM II DECISION WORKSHEET			SYSTEM				System N*			Facilitator	Date	Sheet N*			
			SUB-SYSTEM				Sub-system N*			Auditor:	Date	of			
Information reference			Consequence evaluation				H1	H2	H3	Default action			Proposed task	Initial interval	Can be done by
							S1	S2	S3						
F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4			

Sumber: (John Moubray, 1997 : 199)

RCM II *Decision Worksheet* ini digunakan untuk mencari jenis kegiatan perawatan (*maintenance task*) yang tepat dan memiliki kemungkinan untuk dapat mengatasi setiap *failure mode*. RCM II *Decision Worksheet* terdiri dari 5 bagian utama, yaitu:

1. *Information Reference*

Information reference merupakan informasi yang diperoleh dari FMEA/RCM II *decision worksheet*, yaitu dengan memasukkan informasi mengenai *function*, *failure function*, *failure mode* dari peralatan/komponen.

Tabel 2.3 Information Reference

<i>Failure Consequences</i>	Keterangan
Kolom F (<i>Fuction</i>)	Fungsi dari komponen atau item yang diharapkan oleh user tetap berada dalam level kemampuan dari item tersebut sejak awal dibuat
Kolom FF (<i>Function Failure</i>)	Didefinisikan sebagai kegagalan dari suatu item untuk melaksanakan <i>system function</i> yang diharapkan
Kolom FM (<i>Function Mode</i>)	Jenis kerusakan yang terjadi pada komponen atau item sehingga menyebabkan komponen gagal beroperasi atau mengalami gangguan saat beroperasi

2. *Failure Consequences*

Pemetaan atau penentuan *failure consequences* dilakukan menggunakan RCM II *Decision Diagram*. Lembar RCM II *Decision Diagram* dapat dilihat pada lampiran 6. Pemetaan dimulai dengan menjawab pertanyaan pada pojok kiri atas RCM II *Decision Diagram*. Misalnya untuk *information reference* 1-A-1, “apakah operator mengetahui jenis kegagalan dalam kondisi normal?”, jawabannya adalah “ya”,

maka pada kolom H dalam RCM *Decision Worksheet* ditulis Y dan dilanjutkan ke pertanyaan berikutnya sesuai atahan dari RCM *decision diagram*, sehingga nanti akan didapatkan jenis tindakan perawatan yang sesuai dengan penyebab terjadinya kegagalan/kerusakan. Tabel 4.32 berikut ini berisi tentang penjelasan dari setiap *failure consequences* yang terdapat pada RCM II *Decision Diagram*.

Tabel 2.4 Failure Consequences

<i>Failure Consequences</i>	Keterangan	
	<i>Yes</i>	<i>No</i>
Kolom H (<i>Hidden Failure</i>)	<i>Failure mode</i> diketahui secara langsung oleh operator dalam kondisi normal	<i>Failure mode</i> tidak diketahui secara langsung oleh operator dalam kondisi normal
Kolom S (<i>Safety</i>)	<i>Failure mode</i> berdampak pada keselamatan kerja operator	<i>Failure mode</i> tidak berdampak pada keselamatan kerja operator
Kolom E (<i>Environment</i>)	<i>Failure mode</i> berdampak pada keselamatan/kelestarian lingkungan	<i>Failure mode</i> tidak berdampak pada keselamatan/kelestarian lingkungan
Kolom O (<i>Operational</i>)	<i>Failure mode</i> berdampak pada <i>output</i> produksi	<i>Failure mode</i> tidak berdampak pada <i>output</i> produksi

Sumber: Moubray(1997:203)

3. *Proactive Task and Default Action*

Penjelasan tentang komponen-komponen *proactive task and default action* yang terdapat pada RCM II *Decision Diagram* ditunjukkan oleh Tabel 4.33. Apabila aktivitas *proactive task and default action* tidak dapat mengatasi atau mengantisipasi kegagalan yang terjadi maka aktivitas perawatan digolongkan ke dalam *no scheduled maintenance* dimana tindakan *redesign* terhadap peralatan perlu dipertimbangkan untuk mencegah terjadinya kegagalan.

Tabel 2.5 Proactive Task and Default Action

<i>Proactive Task</i>	Persyaratan Kondisi
Kolom H1/S1/O1/N1	<ul style="list-style-type: none"> • Apakah <i>potential failure</i> (PF interval) dapat diketahui secara pasti dalam kondisi normal? • Apakah dalam interval waktu tersebut cukup untuk melakukan tindakan pencegahan
Kolom H2/S2/O2/N2	<ul style="list-style-type: none"> • Dapat diidentifikasi umur dimana item tersebut menunjukkan kemungkinan penambahan kecepatan terjadinya kondisi kegagalan • Mayoritas dari <i>item</i> dapat bertahan pada umur tersebut (untuk semua <i>item</i>) jika kegagalan memiliki konsekuensi terhadap keselamatan lingkungan • Memperbaiki dengan subsistem yang tahan terhadap kegagalan tersebut

Tabel 2.5 *Proactive Task and Default Action* (lanjutan)

<i>Proactive Task</i>	Persyaratan Kondisi
Kolom H3/S3/O3/N3	<ul style="list-style-type: none"> • Dapat diidentifikasi umur dimana <i>item</i> tersebut menunjukkan kemungkinan penambahan kecepatan terjadinya kondisi kegagalan • Mayoritas dari <i>item</i> dapat bertahan pada umur tersebut (untuk semua <i>item</i>) jika kegagalan memiliki konsekuensi terhadap keselamatan lingkungan
Kolom H4 <i>scheduled failure finding task</i>	<i>Hidden Failure</i> dapat dicegah bila <i>failure mode</i> dapat dideteksi secara teknis
Kolom H5 <i>Redesign</i>	<i>Hidden Failure</i> dapat dicegah hanya dengan jalan melaksanakan perubahan <i>design</i> pada mesin
Kolom S4 <i>Combination Task</i>	<i>Safety effect</i> dapat dicegah apabila kombinasi aktivitas antar <i>prioactive task</i> dilakukan

Sumber: Moubray (1997:205)

4. *Propose Task*

Apabila *proactive task* telah dipilih, maka diskripsi dari tindakan pencegahan yang akan diambil dimasukkan dalam kolom *proposed task*.

5. *Initial Interval*

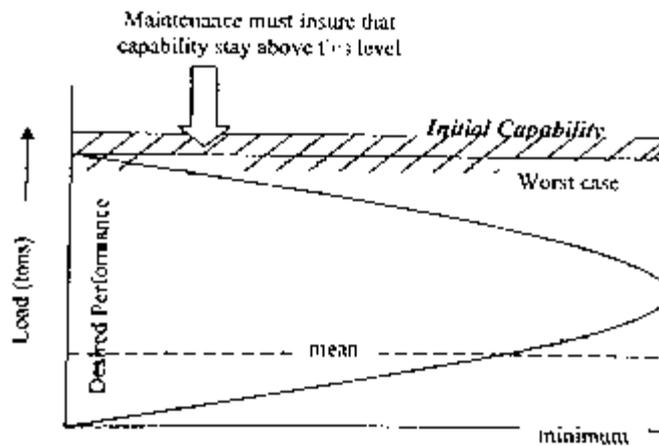
Interval perawatan yang dipilih merupakan interval optimum. Apakah interval perawatan tersebut harian, mingguan, atau bulanan.

6. *Can be done*

Kolom terakhir dalam RCM *worksheet* ini digunakan untuk mencatat siapa yang bisa melakukan tindakan perawatan tersebut. Berikut Tabel 4.34 yang merupakan RCM II *Decision Worksheet* komponen dengan *downtime* tertinggi yang menjadi fokus utama penelitian ini.

2.4.1 *Sistem Function and Function Failure*

Sistem function merupakan fungsi dari item yang diharapkan oleh user tetap berada dalam level kemampuan dari item tersebut sejak awal dibuat. Sistem *maintenance* hanya mampu menjaga kondisi item tetap berada dibawah *initial capability* dari desain item. *System function* bisa digambarkan melalui gambar di bawah ini.



Gambar 2. 1 System Function
Sumber Moubray,1997:26

Sedangkan *function failure* didefinisikan sebagai kegagalan dari suatu item untuk melaksanakan *system function* yang diharapkan.

2.4.2 Failure Mode and Effect Analysis

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) merupakan suatu teknik *management failure* untuk mengidentifikasi penyebab kegagalan suatu aset yang tidak mampu melaksanakan fungsi standar yang telah diharapkan oleh *user*. *Failure mode* dapat didefinisikan bagaimana suatu aset bias mengalami kerusakan, hal itu bertujuan untuk menemukan akar permasalahan (*root cause*) dari kegagalan yang timbul. *Failure effect* menjelaskan dampak yang ditimbulkan apabila *failure mode* tersebut benar-benar terjadi (Bowles & Bonnel, 1996:28). Secara umum penerapan FMEA dapat mengidentifikasi tiga hal, yaitu.

1. Mengidentifikasi aktivitas yang dapat mengeliminasi atau mengurangi kesempatan kejadian potensial.
2. Mendokumentasikan sebuah proses.
3. Memahami dan mengevaluasi potensi kegagalan dari suatu alat dan akibatnya.

Seringkali FMEA digunakan sebagai langkah awal untuk melakukan studi terhadap keandalan. Melibatkan banyak tinjauan terhadap komponen-komponen, rakitan, dan subsistem yang kemudian diidentifikasi kemungkinan bentuk kegagalannya serta penyebab dan efek dari masing-masing kegagalan. Pada setiap komponennya, setiap bentuk kegagalan dan efek yang ditimbulkan pada sebuah sistem akan dituliskan pada form FMEA yang telah dibuat.

Tabel 2.6 *Functional Mode and Effect Analysis (FMEA)*

FMEA WORKSHEET			SYSTEM :	Facilitator:	
			SUB-SYSTEM :	Auditor:	
No.	Komponen	Function	Functional Failure (loss of function)	Failure Mode (cause of failure)	Failure Effect (what happen when it failure)

Sumber: (Moubray, 1997:89)

Penerapan teknik FMEA merupakan integrasi dari pelaksanaan analisa RCM (*Reliability Centerd Maintenance*). Ide utama RCM adalah untuk mencegah kegagalan dengan mengeliminasi atau mengurangi penyebab kegagalan. Analisis FMEA fokus pada penyebab kegagalan dan mekanisme terjadinya kegagalan. Ketika penyebab dan mekanisme kegagalan telah diidentifikasi untuk setiap *failure mode*, selanjutnya akan membantu kita memberikan saran untuk waktu pelaksanaan *preventive maintenance*, atau perencanaan tindakan monitoring untuk mencegah *failure rate*.

Untuk mengidentifikasi dan memprioritaskan mode kegagalan yang penting sebagai fungsi *severity* (keparahan) dari efek pada level sistem dan kemungkinan *occurance* (kejadian) maka dilakukan penilaian kekritisan. Pada metode RPN parameter untuk menilai kekritisan dari item suatu mode kegagalan adalah frekuensi kejadian, *severity* (keparahan) dari efek kegagalan, dan deteksi (Bowles & Bonnel, 1996:43).

2.4.3 Failure Consequence

Moubray (1997:90) menjelaskan bahwa 4 klasifikasi konsekuensi kegagalan pada *Reliability Centerd Maintenance* adalah sebagai berikut.

1. Hidden Failure Consequences

Dimana kegagalan tersebut tidak dapat dibuktikan secara langsung sesaat setelah kegagalan berlangsung. Diperlkan suatu teknik khusus untuk mengatasi dampak kegagalan jenis ini.

2. Safety and Environment Consequences

Safety Consequences terjadi apabila sebuah kegagalan fungsi suatu *item* mempunyai konsekuensi terhadap keselamatan pekerja lainnya. *Environment consequences* terjadi apabila kegagalan fungsi suatu *item* berdampak pada kelestarian lingkungan.

3. *Operational Consequences*

Suatu kegagalan dikatakan mempunyai konsekuensi operasional ketika berakibat pada produksi atau operasional (kualitas produk, pelayanan terhadap konsumen, atau biaya operasional untuk perbaikan komponen).

4. *Non Operational Consequences*

Bukti kegagalan pada kategori ini adalah yang bukan tergolong dalam konsekuensi keselamatan ataupun produksi, jadi kegagalan ini hanya melibatkan biaya perbaikan.

2.4.4 *Proactive Task and Initial Interval*

Tindakan *Proactive Task and Initial Interval* dilaksanakan sebelum terjadinya kegagalan, untuk mencegah obyek ataupun komponen memasuki kondisi yang dapat menyebabkan kegagalan (*failed state*). Aktivitas pencegahan tersebut adalah *predictive* dan *preventive maintenance*. Dalam RCM *predictive maintenance* dimasukkan dalam aktivitas *scheduled on condition task* sedangkan *preventive maintenance* dimasukkan ke dalam *scheduled restoration task* ataupun *scheduled discard task* (Moubray, 1997:129).

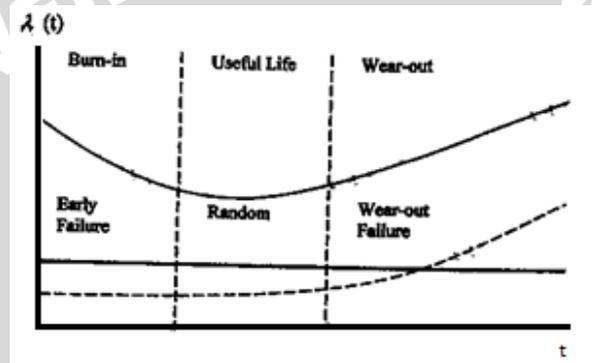
1. *Scheduled restoration task* adalah tindakan pemulihan kemampuan *item* pada saat atau sebelum batas umur yang ditetapkan, tanpa memperhatikan kondisi saat itu. Karakteristiknya adalah sebagai berikut.

- a. Dapat didefinisikan umur dimana *item* tersebut menunjukkan kemungkinan penambahan kecepatan terjadinya kondisi kegagalan.
- b. Mayoritas dari *item* dapat bertahan pada umur tersebut (untuk semua *item* jika kegagalan memiliki konsekuensi terhadap keselamatan lingkungan).
- c. Memperbaharui dengan *sub item* yang tahan terhadap kegagalan tersebut.

Karakteristik kegagalan *item* dapat dibagi menjadi tiga tahap yang biasa disebut *bathupshaped*, hal ini seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2. Tiga tahap tersebut antara lain.

- 1) Kegagalan Awal (*infant mortality failure*) pada umumnya terjadi pada awal pengoperasian suatu *item*. Kegagalan pada tahap ini ditandai dengan laju kerusakan yang menurun.
- 2) Kegagalan Acak (*random failure*) umumnya terjadi pada *item* yang berjalan normal. Laju kegagalan pada tahap ini ditandai dengan laju kegagalan yang konstan.

- 3) Kegagalan Usang (*user-out failure*) pada usia penggunaan tertentu suatu *item* mengalami keusangan yang ditandai dengan laju kegagalan yang semakin meningkat. Untuk mengurangi pengaruh keusangan ini dilakukan penggantian beberapa bagian alat atau bahkan seluruhnya dengan yang baru.
5. *Scheduled discard task* adalah tindakan mengganti *item* pada saat atau batas umur yang ditetapkan tanpa memperhatikan kondisi saat itu, tindakan ini secara teknik mungkin dilakukan dalam kondisi berikut.
 - a. Dapat diidentifikasi umur dimana *item* tersebut menunjukkan kemungkinan penambahan kecepatan terjadinya kondisi kegagalan.
 - b. Mayoritas dari *item* dapat bertahan pada umur tersebut (untuk semua *item* jika kegagalan memiliki konsekuensi terhadap keselamatan lingkungan).



Gambar 2. 2 Kurva *Bathup-Shaped*
Sumber: Ebeling, 1997:31

6. *Scheduled on condition task* adalah kegiatan pemeriksaan terhadap *potensial failure* sehingga tindakan dapat diambil untuk mencegah terjadinya *functional failure*. *Potensial failure* didefinisikan dengan sebuah kondisi yang dapat mengindikasikan sedang terjadi kegagalan fungsi (*functional failure*).

Empat kategori utama *scheduled on condition task* menurut Moubray (1997:149) antara lain:

1. *Condition monitoring techniques*, yang melibatkan penggunaan peralatan khusus untuk melakukan monitor terhadap kondisi peralatan lain.
2. *Statistical proses control*, yakni proses pencegahan yang didasarkan atas variasi kualitas produk yang dihasilkan.
3. *Primary effect monitoring techniques* yang melibatkan peralatan seperti *gauges* yang ada dan peralatan untuk proses *monitoring*.
4. Teknik inspeksi berdasarkan *human sense*.

2.4.5 Default Action

Tindakan ini dilakukan ketika *predictive task* yang efektif tidak mungkin dapat dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan. *Default Action* menurut Moubray (1997:170) meliputi:

1. *Scheduled failure finding*, meliputi tindakan pemeriksaan secara periodik terhadap fungsi-fungsi yang tersembunyi untuk mengetahui apakah *item* tersebut telah rusak.
2. *Redesign*, membuat suatu perubahan untuk membangun kembali kemampuan suatu sistem. Hal ini mencakup modifikasi terhadap perangkat keras dan juga perubahan prosedur.
3. *Combination task*, khusus untuk menangani apabila kegagalan terjadi dan mengancam keselamatan kerja manusia di dalamnya.

2.5 KONSEP KEANDALAN

Adanya konsep tentang keandalan dapat membantu dalam hal pemecahan masalah-masalah yang berkaitan dengan manajemen pemeliharaan. Sebagai contoh dalam sebuah industri bila pihak manajemen pemeliharaan dapat memperkirakan tingkat keandalan dari peralatan, maka akan diketahui kapan sebaiknya dilakukan pengantian 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.

2.5.1 Definisi Keandalan

Menurut Dhillon (2006:3) keandalan adalah probabilitas suatu item dalam menjalankan fungsinya secara memuaskan selama periode waktu tertentu dan digunakan atau dioperasikan dalam kondisi yang semestinya. Berdasarkan definisi tersebut dapat kita simpulkan bahwa kata kunci dari *reliability* adalah probabilitas umur *item* dalam menjalankan fungsinya, yang akhirnya mengacu pada variabel waktu. Dalam hal ini waktu berkaitan dengan laju kerusakan (*failure rate*). Karena waktu kerusakan merupakan kejadian yang bersifat *random* maka dapat digambarkan dalam bentuk probabilitas kerusakan yang mengikuti distribusi tertentu.

2.5.2 Fungsi Keandalan

Variabel utama dalam fungsi keandalan adalah waktu terjadinya kerusakan (*time to failure*) bersifat random. Fungsi tersebut dirumuskan sebagai berikut :

$$R(t) = P \{T \geq t\} \quad (2-1)$$

(Ebeling,1997:24)

Dimana $R(t) \geq 0, R(0) = 1, \text{ dan } \lim_{t \rightarrow \infty} R(t) = 0$ untuk nilai dari t , $R(t)$ adalah probabilitas dari *time to failure* adalah lebih besar atau sama dengan t .

Jika dirumuskan

$$F(t) = 1 - R(t) = P\{T < t\} \quad (2-2)$$

(Ebeling,1997:24)

Dimana :

$$F(0) = 0 \text{ dan } \lim_{t \rightarrow \infty} F(t) = 1$$

Dimana: $F(t)$ merupakan probabilitas peralatan dapat beroperasi hingga waktu t . kita mengacu pada $R(t)$ adalah fungsi *reliability* dan $F(t)$ adalah *cummulative distribution failure* (CDF) dari distribusi dengan rumusan :

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = - \frac{dR(t)}{dt} \quad (2-3)$$

(Ebeling,1997:24)

Dengan :

$$f(t) \geq 0 \text{ dan } \int_0^{\infty} f(t)dt = 1$$

maka didapat *cummulative distribution failure* (CDF) untuk $f(t)$

$$F(t) = \int_0^1 f(t)dt \quad (2-4)$$

(Ebeling,1997:24)

$$R(t) = \int_x^0 f(t)dt \quad (2-5)$$

(Ebeling,1997:24)

2.5.3 Laju Kerusakan

Laju kerusakan dapat didefinisikan sebagai probabilitas banyaknya komponen yang mengalami kerusakan setiap satuan waktu, jika komponen sejenis dalam jumlah banyak

dioperasikan secara bersamaan. Apabila laju kerusakan $\lambda(t)$ dirumuskan secara matematis adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} P\{t \leq T \leq t + \Delta t\} &= R(t) - R(t + \Delta t) \\ P\{t \leq T \leq t + \Delta t | T \geq t\} &= \frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{R(t)} \\ &= \frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{R(t)\Delta t} \end{aligned}$$

Kemungkinan kondisi dari kegagalan perunit dalam waktu (tingkat kegagalan)

$$\begin{aligned} \lambda(t) &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{-[R(t + \Delta t) - R(t)]}{\Delta t} \cdot \frac{1}{R(t)} \\ &= \frac{-dR(t)}{dt} \cdot \frac{1}{R(t)} = \frac{f(t)}{R(t)} \end{aligned} \quad (2-6)$$

(Ebeling, 1997:29)

$$\text{Maka : } \lambda(t) = \frac{-dR(t)}{dt} \cdot \frac{1}{R(t)}$$

$$\text{Atau } \lambda(t)dt = \frac{-dR(t)}{R(t)}$$

$$\text{Integral } \int_0^1 \lambda(t)dt = \int_1^{R(t)} \frac{-dR(t)}{R(t)}$$

Dimana $R(0) = 1$, dari rumusan diatas dapat dihubungkan bahwa antar laju kerusakan terhadap tingkat keandalan sebagai berikut.

$$-\int_0^1 \lambda(t)dt = \ln R(t) \text{ sehingga } R(t) = \exp\left[-\int_0^1 \lambda(t)dt\right] \quad (2-7)$$

(Ebeling, 1997:29)

2.5.4 Mean Time To Failure (MTTF)

Mean Time To Failure adalah ekspektasi masa pakai suatu perataan yang dinotasikan dengan $E(t)$ distribusi *Mean Time To Failure* (MTTF). Apabila dirumuskan secara matematis adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} MTTF &= \int_0^{\infty} t f(t) dt \Big|_0^{\infty} + \int_0^{\infty} R(t) dt \\ &= - \int_0^{\infty} t \frac{dR}{dt} dt = -tR(t) \\ &= \int_0^{\infty} R(t) dt \end{aligned} \quad (2-8)$$

(Ebeling, 1997:26)

2.5.5 Mean Time To Repair (MTTR)

MTTR merupakan waktu rata – rata dari *interval* waktu untuk melakukan perbaikan yang dibutuhkan oleh suatu komponen atau sistem. . Sebelum dapat menentukan MTTR harus diketahui terlebih dahulu jenis distribusi dari datanya. Menurut Ebeling (1997), MTTR diperoleh dengan rumus:

$$MTTR = \int_0^{\infty} th(t)dt = \int_0^{\infty} (1 - H(t))dt \quad (2-9)$$

$h(t)$ = fungsi kepadatan peluang untuk data waktu perbaikan (TTR)

$H(t)$ = fungsi distribusi kumulatif untuk data waktu perbaikan (TTR)

Berikut ini adalah perhitungan nilai MTTR untuk masing–masing distribusi adalah sebagai berikut.

- 1) Distribusi Normal dan Lognormal

$$MTTR = t_{med} e^{\frac{\tau}{2}} \quad (2-10)$$

- 2) Distribusi Eksponensial

$$MTTR = \frac{1}{\tau} \quad (2-11)$$

- 3) Distribusi Weibull

$$MTTR = \theta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (2-12)$$

2.6 MODEL DISTRIBUSI PROBABILITAS UNTUK KEANDALAN

Kejadian kerusakan pada setiap peralatan merupakan variabel random. Langkah pertama dalam menghitung keandalan suatu peralatan yaitu dengan cara mengetahui model probabilitas, yang biasa dinyatakan dalam distribusi statistik. Berikut ini merupakan analisis keandalan yang terbagi menjadi beberapa distribusi yaitu distribusi Exponensial, distribusi Weibull, distribusi Lognormal dan distribusi Normal.

2.6.1 Distribusi Eksponensial

Distribusi banyak digunakan dimana kerusakan suatu peralatan disebabkan oleh kerusakan komponen penyusun peralatan tersebut. Distribusi ini banyak digunakan dalam pekerjaan keandalan dan *maintenance* karena dianggap teknik yang mudah untuk digunakan dalam menangani analisis *failure rate* yang konstan dari suatu *item* terutama perangkat elektronik. Berikut merupakan persamaan matematis dari distribusi eksponensial :

$$R(t) = \exp\left[-\int_0^1 \lambda dt\right] = e^{-\lambda t}, t \geq 0 \quad (2-13)$$

dan $F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$

kemudian $f e^{-\lambda t} = -\frac{dR(t)}{dt} = \lambda e^{-\lambda t}$

dengan persamaan (2.8) maka didapat:

$$MTTF = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{e^{-\lambda t}}{-\lambda} \Big|_0^{\infty} = \frac{1}{\lambda}$$

(Ebeling, 1997:42)

2.6.2 Distribusi Weibull

Distribusi ini digunakan ketika keandalan dimana memiliki parameter bentuk/*shape parameter* (β) dan parameter skala / *scale parameter* (θ). Persamaan yang digunakan antara lain.

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{(\beta-1)} \quad \theta > 0 \quad \beta > 0, t \geq 0 \quad (2-14)$$

$$\begin{aligned} R(t) &= \exp \left[- \int_0^t \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{(\beta-1)} dt \right] \\ &= e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} \end{aligned} \quad (2-15)$$

Dan :

$$f(t) = -\frac{dR(t)}{dt} = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{(\beta-1)} e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} \quad (2-16)$$

Maka MTTF distribusi Weibull adalah:

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

Dimana $\Gamma(x)$ adalah fungsi gamma

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

Untuk $x > 0$, $\Gamma(x) = (x-1)\Gamma(x-1)$

(Ebeling, 1997:59)

2.6.3 Distribusi Lognormal

Digunakan apabila logaritma mengikuti distribusi normal. Distribusi lognormal akan sangat berguna untuk merepresentasikan distribusi lama waktu perbaikan (*repair time*) dari item yang mengalami suatu kerusakan atau kegagalan. Persamaan yang digunakan dalam distribusi lognormal antara lain:

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2s^2}} \exp \left[-\frac{1}{2s^2} \left(\ln \frac{t}{t_{med}} \right)^2 \right]^2 \quad t \geq 0 \quad (2-18)$$

MTTF distribusi lognormal :

$$MTTF = t_{med} \exp \left(\frac{s^2}{2} \right) \quad (2-19)$$

(Ebeling 1997:73)

2.7 MODEL MATEMATIS PERAWATAN

Penggunaan model matematis akan sangat membantu penelitian ini dalam mengalkulasi usia pakai peralatan serta penentuan waktu optimal peralatan. Di dalam jurnal yang dikeluarkan oleh Havard (2000) yang berjudul *Determination of a Cost Optimal, predetermined maintenance scheduled* digambarkan bahwa kurva biaya total perawatan dibanding dengan usia pakai peralatan akan membentuk kurva parabolis, dimana interval perawatan efektif berada pada nilai maksimum kurva. Dirumuskan bahwa total biaya perawatan merupakan penjumlahan kumulatif biaya kegagalan dan biaya perawatan maka dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} TC &= C_f F_f + C_m F_m \\ &= C_f \left[\frac{1}{TM} \int_0^{TM} \lambda(t) dt \right] + C_m \left[\frac{1}{TM} \right] \\ &= \frac{1}{TM} \left[C_f \int_0^{TM} \lambda(t) dt + C_m \right] \end{aligned} \quad (2-20)$$

(Havard, 2000:4)

Jika data antar kerusakan berdistribusi Weibul, maka biaya total perjamnya adalah :

$$TC = \frac{C_f}{\theta \beta} TM^{\beta-1} + \frac{C_m}{TM} \quad (2-21)$$

(Harvard, 2000:4)

Untuk mendapatkan TC dengan nilai paling minimum maka $\frac{dT_c}{dT_m} = 0$, kemudian akan diperoleh:

$$TM = \theta \left[\frac{C_m}{C_f - C_m} x \frac{1}{\beta-1} \right]^{\frac{1}{\beta}} \quad (2-22)$$

$$C_f = C_r + MTTR(C_o + C_w) \quad (2-23)$$

(Havard, 2000:5)

C_o = kecepatan produksi Kg/jam x harga produk/kg

(Harvard, 2000:5)

Keterangan:

C_f = biaya perbaikan atau penggantian karena rusaknya komponen untuk setiap siklus

C_m = biaya yang dikeluarkan untuk perawatan persiklus

TM= interval waktu perawatan optimal (*preventive maintenance*) dalam jam.

F_f = frekuensi kegagalan

F_m = frekuensi perawatan

TC = total biaya perawatan

C_r = biaya penggantian kerusakan komponen

C_o = biaya kerugian /jam

C_w = biaya tenaga kerja *corrective maintenance*/jam

2.7 AVAILABILITY RATE

Availability rate merupakan rasio yang menggambarkan pemanfaatan waktu yang tersedia untuk kegiatan operasi mesin. *Loading time* merupakan waktu mesin bekerja sesuai yang direncanakan. *Downtime* mesin adalah waktu proses mesin yang hilang dikarenakan adanya gangguan pada mesin/peralatan yang mengakibatkan tidak ada *output* yang dihasilkan karena kegagalan mesin, kerusakan alat, *unplanned maintenance*, dan tidak tersedianya bahan baku. *Operation time* merupakan waktu bersih mesin bekerja (tanpa *downtime*). Nilai *availability* dihitung dengan rumus (Stephens, 2004):

$$\text{Operation time} = \text{Loading time} - \text{downtime}$$

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

2.8 OPPORTUNITY COST

Biaya peluang muncul, karena adanya pilihan yang dilakukan individu-individu, perusahaan, dan masyarakat atas kelangkaan yang dihadapi. Seperti diketahui, sumber-sumber daya ekonomi yang tersedia sangat terbatas, sehingga memaksa manusia untuk melakukan pilihan dalam kehidupannya. Pilihan yang dibuat akan mengakibatkan pengorbanan pada pilihan yang lain, dan timbullah biaya peluang. Menurut Mankiw (2012) "*the cost of something is what you give up to get it*" (biaya merupakan apa yang dikorbankan untuk memperoleh sesuatu). Untuk mendapatkan sesuatu yang kita butuhkan

dan inginkan terkadang kita harus mengorbankan sesuatu, biasanya berupa uang untuk membeli sesuatu tersebut.

Dalam ekonomi dikenal istilah biaya peluang (*Opportunity Cost*). Biaya peluang adalah biaya yang timbul akibat memilih sebuah peluang terbaik dari beberapa alternatif yang tersedia. Ketika seseorang dihadapkan pada beberapa alternatif pilihan dan harus memilih salah satu di antaranya maka alternatif yang tidak dipilihnya itulah yang menjadi biaya peluang.

