BAB II

KAJIAN LITERATUR

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai perawatan mesin juga dilakukan oleh Irawan Harnadi Bangun, Arif Rahman dan Zefry Darmawan pada tahun 2014 berjudul perencanaan pemeliharaan mesin produksi dengan menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) II pada mesin Blowing Om. Menitik beratkan permasalahan pada kondisi mesin yang sudah tua dan mengalami *downtime* yang tinggi, dengan tujuan untuk untuk merencanakan kebijakan perawatan yang optimal untuk mempertahankan proses produksi pada kondisi yang optimal dengan menggunakan metode RCM II. Hasil analisis interval perawatan menunjukkan bahwa jenis kerusakan permukaan karet *flat belt* tidak rata memilik interval perawatan yang optimal sebesar 510 jam, karet *flat belt* longgar 260 jam, *flat belt* putus 580 jam, kayu *spike lattice* patah 620 jam, dan paku *spike lattice* patah 500 jam. Dari perhitungan total biaya perawatan optimal diperoleh hasil dengan jenis kerusakan permukaan karet *flat belt* tidak rata sebesar Rp 7.973.519,82, karet *flat belt* longgar Rp 11.000.673,81, *flat belt* putus sebesar Rp 14.061.553,06, kayu *spike lattice* patah sebesar Rp 19.170330,63, dan paku *spike lattice* patah sebesar 30.880.512,66. *Metode Reliability Centered Maintenance* (RCM) II dibandingkan dengan total biaya perawatan sebelumnya terjadi penurunan biaya perawatan dalam mesin Blowing OM sebesar 10,27%.

Penelitian yang dilakukan oleh Kurniawan dan Rani Rumita pada tahun 2014 mengenai perencanaan sistem perawantan mesin Urbannyte. Pada penelitian ini menitik beratkan masalah pada *downtime* mesin yang tinggi pada mesin Urbannyte. Dalam penelitian peneliti menggunakan metode RCM II (*Reliability Centered maintenance* II) yang diharapkan dapat membentuk *scheduled maintenance* dan *operating procedures*, sehingga diperoleh interval perawatan yang dapat di jadwalkan dan dapat menampilkan sebuah kerangka kerja berdasarkan informasi penjadwalan

perawatan untuk perencanaan yang efisien, aplikatif dan mampu sebagai pilihan terbaik dalam penyesuaian atau pengembangan model pemeliharaan yang optimal. Hasil dari penelitian ini menunjukan nilai *Risk Priority Number* (RPN) dapat terlihat bahwa terdapat 4 komponen Mesin Urbannyte yang memiliki nilai RPN terbesar yaitu *tucker blade* sebesar 160, *elektromanetik clutch* sebesar 150, *bearer* sebesar 128 dan *belt ring* sebesar 120. Berdasarkan *Logic Tree Analysis* (LTA), komponen *tucker blade, elektromanetik clutch, bearer* dan *belt ring* tersebut harus dilakukan kegiatan *schedulled discard task* dan pada analisis karakteristik kegagalan untuk 4 komponen tersebut termasuk dalam fase laju kerusakan yang cenderung tajam atau meningkat yang perlu dikakukan penggantian. Terkait biaya perawatan (Tc) dan interval penggantian untuk meminimalisir *downtime* pada komponen *tucker blade* sebesar Rp 2.433.676 per 61 hari, *elektromanetik clutch* sebesar Rp 2.198.415 per 72 hari, *bearer* sebesar Rp 1.813.811 per 81 hari dan *belt ring* sebesar Rp 1.801.597 per 60 hari.

Penelitian yang dilakukan oleh Dyah Ika Rinawati, Bambang Purwanggono dan Eko Lisysantaka pada tahun 2012 yang berjudul Perencanaan Kegiatan Maintenance Pada Sistem Pipe Making Line Dengan Pendekatan *Reliability Centered Maintenance II* (Studi Kasus Pt Indonesia Steel Tube Works Semarang). Permasalahn pada penelitian ini adalah terjadinya *breakdown* mesin yang menimbulkan kerugian pada perusahaan. Metode yang digunakan adalah *Reliability Centered Maintenance* (RCM) II, dimana penilaian dilakukan secara kuantitatif dan kualitatif. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan rencana kegiatan maintenance guna menjamin keandalan sistem pada Pipe Making Line berdasarkan modus-modus kegagalan mesin dan konsekuensinya. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini menunjukan bahwa terdapat 36 modus kegagalan dalam sistem *pipe making line,* dengan komponen kritis yang perlu mendapatkan prioritas adalah *oil seal pompa hydraulic un-coil* bocor, serta *bearing main shaft saw blade cutting* rusak dan *chain cutting* kendur berada pada urutan kedua dan ketiga. Dalam penentuan interval perwatan yaitu 1120 jam untuk penggantian komponen bearing 6312 pada *Shaft Saw Blade mesin Cutting* dan 2611 jam untuk penggantian komponen *Chain Cutting* RS-80.

Penelitian yang dilakukan oleh Boy Isma Putra, ST.,MM. (2007) yang berjudul Evaluasi Manajemen Perawatan Dengan Metode *Reliability Centered Maintenance* II (RCM II) Pada Mesin Danner 1.3 Di Pt. X . Penelitian ini mengambil permasalahan mengenai keandalan komponen dari sebuah mesin. Metode *Reliability*

Centered Maintenance II ini digunakan untuk menentukan kegiatan dan interval perawatan berdasarkan pada RCM II Decision Worksheet sesuai dengan fungsi dan sistem dari mesin Danner 1.3. Tujuan diadakannya penelitian ini adalah : Menentukan kegiatan dan interval perawatan berdasarkan RCM II Decision Worksheet. Mengidentifikasi penyebab kegagalan dan efek kegagalan dan menentukan biaya perawatan yang optimal. Hasil penelitian diperoleh bahwa dari 24 komponen pada Mesin Danner 1.3 didapatkan 10 komponen kritis dan komponen kritis yang memiliki kegagalan potensial diantaranya *belt gardan, gardan drive, recutting burner, slanting chain dan tromol cutting*. Sedangkan jenis kegiatan perawatan diperoleh *Scheduled On Condition Task* sebanyak 3 komponen, *Scheduled Restoration Task* sebanyak 4 komponen dan *Scheduled Discard Task* sebanyak 3 komponen. Dengan interval perawatan berada antara 34,08 - 1264,28 jam dan biaya perawatan berada pada kisaran Rp.3.831,84 - Rp. 208.673,43 dengan effisiensi antara 12,22% - 63,02%.

2.2 Definisi Perawatan

Perawatan dapat diartikan sebagai salah satu kegiatan pemeliharaan fasilitas pabrik serta mengadakan perbaikan, penyesuaian atau pergantian yang diperlukan agar suatu keadaan operasi produksi sesuai dengan yang direncanakan (Assauri, 1993). *Maintenance* adalah suatu kombinasi dari berbagai tindakan yang dilakukan untuk menjaga suatu barang atau memperbaikinya, sampai pada suatu kondisi yang bisa diterima (Corder, 1988). Perawatan juga diartikan tindakan merawat mesin atau peralatan pabrik dengan memperbaharui umur masa pakai dan kegagalan atau kerusakan mesin. (Setiawan F.D, 2008).

2.2.1 Tujuan Perawatan

Tujuan utama dari dilakukannya perawatan didefinisikan sebagai berikut (Corder, 1992):

a. Memperpanjang usia kegunaan asset (yaitu setiap bagian dari suatu tempat kerja, bangunan dan isinya).
b. Menjamin kesediaan optimum peralatan yang dipasang untuk produksi atau jasa Menjamin kesiapan operasional dari seluruh peralatan yang diperlukan dalam keadaan darurat setiap waktu.

c. Menjamin keselamatan orang yang menggunakan sarana tersebut.

2.2.2 Jenis-jenis Perawatan

Kegiatan pemeliharaan yang dilakukan dalam suatu perusahaan pabrik dapat dibedakan atas dua macam (Assauri, 1993). yaitu :

a. *Preventive Maintenance*

Preventive maintenance adalah kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan untuk mencegah timbulnya kerusakan-kerusakan yang tidak terduga dan menemukan kondisi atau keadaaan yang dapat menyebabkan fasilitas produksi mengalami kerusakan pada waktu digunkan pada waktu proses produksi.

b. *Corrective* atau *Breakdown Maintenance*

Corrective atau *Breakdown Maintenance* adalah kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan setelah terjadinya suatu kerusakan atau kelainan pada fasilitas atau peralatan sehingga tidak dapat berfungsi dengan baik. Kegiatan *corrective maintenance* yang dilakukan sering disebut dengan kegiatan perbaikan atau reparasi.

Sedangkan menurut Corder (1998) perawatan (*maintenance*) dibagi menjadi dua, yaitu perawatan terencana dan perawatan tak terencana.

a. Perawatan Terencana (*Planned Maintenance*)

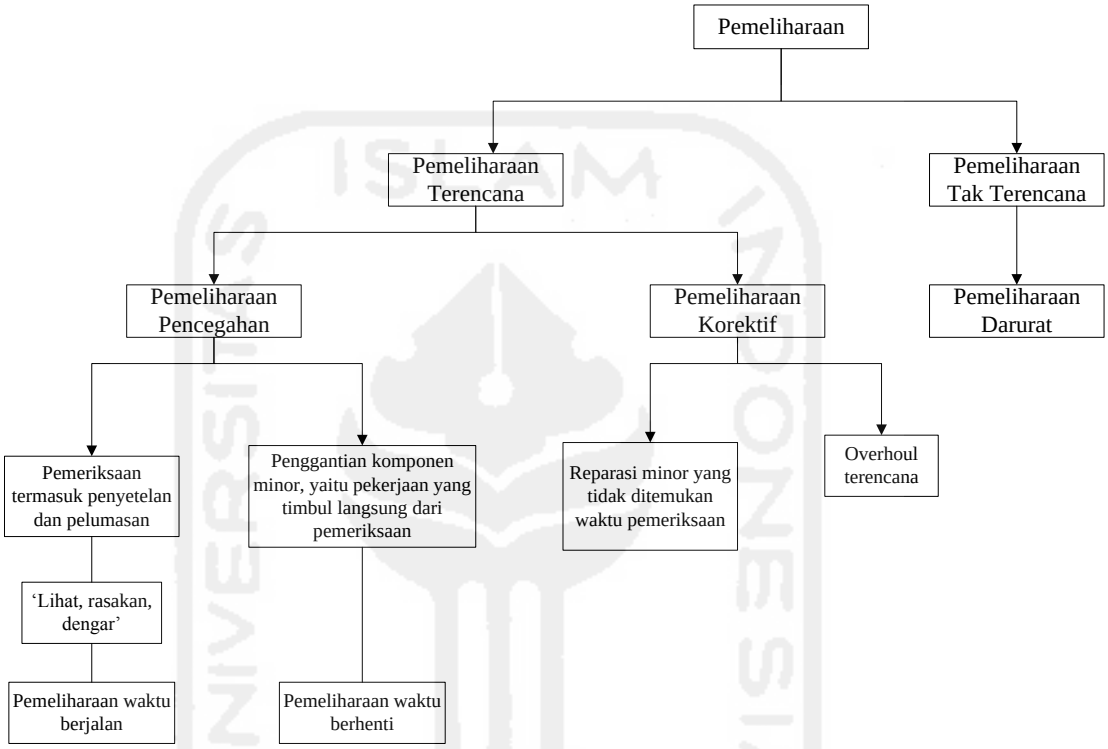
Perawatan terencana adalah perawatan yang diorganisir dan dilakukan dengan perkiraan ke masa depan, pengendalian dan pencatatan sesuai dengan rencana yang telah ditentukan sebelumnya. Perawatan ini terbagi 2 yaitu :

1. Perawatan Pencegahan (*Preventive*)
   Pemeliharaan yang dilakukan pada selang waktu yang sudah ditentukan sebelumnya.
2. Perawatan Perbaikan (*Corrective Maintenance*)
   Pemeliharaan yang dilakukan untuk memperbaiki suatu bagian yang berhenti untuk memenuhi suatu kondisi yang bisa diterima.

b. Perawatan Tidak Terencana (*Unplanned Maintenance*)

Perawatan tidak terencana merupakan perewatan darurat dimana pemeliharaan yang harus segera dilakukan untuk mencegah hilangnya produksi, kerusakan besar atau untuk keselamatan kerja.

Hubungan antara berbagai bentuk pemeliharaan dapat digambar sebagai berikut (Corder, 1998) :



Gambar 2.1 Hubungan antara berbagai bentuk pemeliharaan

2.2.3 Kegiatan perawatan

Kegiatan pemeliharaan dalam suatu perusahaan menurut Manahan P. Tampubolon, (2004) meliputi berbagai kegiatan sebagai berikut:

1. Inspeksi (*inspection*)

   Kegiatan inspeksi meliputi kegiatan pengecekan atau pemeriksaan secara berkala dimana maksud kegiatan ini adalah untuk mengetahui apakah perusahaan selalu mempunyai peralatan atau fasilitas produksi yang baik untuk menjamin kelancaran proses produksi.

2. Kegiatan teknik (*engineering)*

   Kegiatan ini meliputi kegiatan percobaan atas peralatan yang baru dibeli dan pengembangan peralatan yang perlu diganti serta melakukan penelitian terhadap

kemungkinan pengembangan tersebut, dalam kegiatan inilah dapat dilihat kemampuan untuk mengadakan perubahan dan perbaikan fasilitas peralatan perusahaan.

3. Kegiatan produksi (*production*)

   Kegiatan ini merupakan kegiatan pemeliharaan yang sebenarnya, yaitu merawat, memperbaiki mesin-mesin dan peralatan. Melaksanakan pekerjaan yang disarankan atau yang diusulkan dalam kegiatan inspeksi dan teknik, melakukan kegiatan perawatan dan pelumasan.

4. Kegiatan administrasi (*clerical work*)

   Pekerjaan administrasi ini merupakan kegiatan yang berhubungan dengan pencatatan-pencatatan mengenai biaya-biaya yang terjadi dalam melakukan pekerjaan pemeliharaan dan biaya yang berhubungan dengan kegiatan pemeliharaan, komponen suku cadang yang dibutuhkan, laporan kemajuan tentang apa yang telah dikerjakan, waktu dilakukannya inspeksi dan perbaikan serta lamanya perbaikan tersebut.

5. Pemeliharaan bangunan (*housekeeping*)

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

2.3 Diagram Pareto

Seperti halnya teknik *multi-voting* maupun kelompok nominal (NGT), *pareto chart* merupakan metode untuk menentukan masalah mana yang harus dikerjakan lebih dahulu. *Pareto chart*, mendasari keputusan pada data kuantitatif. Gunakan pareto *chart* untk mengidentifikasi beberapa isu vital dengan menerapkan aturan perbandingan 80:20, artinya 80% peningkatan dapat dicapai dengan memecahkan 20% masalah terpenting yang dihadapi (Yamit, 2001)

Menurut Yamit (2001) *Pareto chart* sangat tepat digunakan jika menginginkan hal-hal berikut ini :

1. Menentukan prioritas karena keterbatasan sumber daya.
2. Menggunakan kearifan tim secara kolektif.
3. Menghasilkan konsesus atas keputusan akhir.
4. Menempatkan keputusan pada data kuantitatif.

2.4 *Reliability Centered Maintenance*

RCM sebagai suatu proses yang digunakan untuk menentukan apa yang seharusnya dilakukan untuk menjamin suatu sistem dapat berjalan dengan baik sesuai dengan fungsi yang diinginkan oleh pengguna (Moubray, 1997).

Penelitian mengenai RCM pada dasarnya berusaha menjawab 7 pertanyaan utama tentang *item* atau peralatan yang diteliti (IAEA, 2007). Ketujuh pertanyaan mendasar tersebut adalah

1. Apakah fungsi dan hubungan performansi standar dari *item* dalam konteks pada saat ini (*system function*) ?
2. Bagaimana *item* atau 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 ?

Dalam pengaplikasian metode *Reliability Centered Maintenance* ini tentu saja memiliki maksud dan tujuan. Menurut Moubray (1997) Tujuan utama dari RCM adalah :

1. Untuk mengembangkan desain yang sifat mampu dipeliharanya (*maintainability*) baik.
2. Untuk memperoleh informasi yang penting dalam melakukan *improvement* pada desain awal yang kurang baik.
3. Untuk mengembangkan sistem maintenance yang dapat mengembalikan kepada *reliability* dan *safety* seperti awal mula peralatan dari deteriorasi yang terjadi setelah sekian lama dioperasikan.
4. Untuk mewujudkan semua tujuan di atas dengan biaya minimum.

Prinsip-prinsip dalam *Reliability Centered Maintenance* adalah

1. RCM memelihara fungsional sistem, bukan sekedar memelihara suatu s*item*/alat agar beroperasi tetapi memelihara agar fungsi sistem / alat tersebut sesuai dengan harapan.
2. RCM lebih fokus kepada fungsi sistem daripada suatu komponen tunggal, yaitu apakah sistem masih dapat menjalankan fungsi utama jika suatu komponen mengalami kegagalan.
3. RCM berbasiskan pada kehandalan yaitu kemampuan suatu sistem/equipment untuk terus beroperasi sesuai dengan fungsi yang diinginkan.
4. RCM bertujuan menjaga agar kehandalan fungsi sistem tetap sesuai dengan kemampuan yang didesain untuk sistem tersebut.
5. RCM 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 hasil-hasil yang nyata / jelas, Tugas yang dikerjakan harus dapat menurunkan jumlah kegagalan (*failure*) atau paling tidak menurunkan tingkat kerusakan akaibat kegagalan.

2.4.1 Metodologi RCM

Pada metode RCM memiliki 7 tahapan dalam penyusunannya. Tahapan tersebut antara lain yaitu (Moubray, 1997) :

2.4.1.1 Pemilihan Sistem dan pengumpulan informasi

Pemilihan sistem dapat didasarkan pada beberapa aspek kriteria yaitu :

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. Sisem 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.*

2.4.1.2 Mendefinisikan batasan sistem

Definisi batas sistem (*system boundary definition*) digunakan untuk mendefinisikan batasan – batasan suatu sistem yang akan dianalisis dengan *Reliability Centered Maintenance* (RCM).

2.4.1.3 Deskripsikan sistem dan *Function Block Diagram*

Deskripsi sistem dan diagram blok merupakan representasi dari fungsi-fungsi utama sistem yang berupa blok – blok yang berisi fungsi – fungsi dari setiap subsistem yang menyusun sistem tersebut.

2.4.1.4 Fungsi sistem dan kegagalan fungsi

Fungsi (*Function*) adalah kinerja (*performance*) yang diharapkan oleh suatu sistem untuk dapat beroperasi *Functional Failure* (FF) didefinisikan sebagai ketidak mampuan suatu komponen/sistem untuk memenuhi standar prestasi (*performance standard*) yang diharapkan.

2.4.1.5 *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)

Failure Mode dapat diartikan sebagai sebuah teknik yang digunakan untuk mengindentifikasi dan menghilangkan kegagalan potensial, error dan masalah yang diketahui dari sistem, desain, proses atau jasa sebelum hal tersebut sampai kekonsumen. Pada pengolahan data kualitatif ini akan menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysi*s (FMEA) adalah metode yang digunakan untuk mengidentifikasi bentuk kegagalan yang mungkin menyebabkan setiap kegagalan fungsi dan untuk memastikan pengaruh kegagalan berhubungan dengan setiap bentuk kegagalan (Moubray, 1997).

Secara umum, FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) didefinisikan sebagai sebuah teknik yang mengidientifikasi tiga hal, yaitu :

1. Penyebab kegagalan yang potensial dari sistem, desain produk dan proses selama siklus hidupnya.
2. Efek dari kegagalan tersebut.
3. Tingkat kekritisan efek kegagalan terhadap fungsi sistem, desain produk dan proses.

Tujuan yang dapat dicapai dengan penerapan FMEA oleh perusahaan adalah :

1. Untuk mengidentifikasi mode kegagalan dan tingkat keparahan efeknya.
2. Untuk mengidentifikasi karakteristik kritis dan karakteristik signifikan
3. Untuk mengurutkan pesanan desain potensial dan efisiensi proses.
4. Untuk membantu fokus *engineer* dalam mengarungi perhatian terhadap produk dan proses dan membantu mencegah timbulnya permasalahan.

Output dari proses FMEA adalah :

1. Daftar mode kegagalan yang potensial pada proses
2. Daftar *critical characteristic* dan *significant characteristic.*
3. Daftar tindakan yang direkomendasikan untuk menghilangkan penyebab munculnya mode kegagalan atau untuk mengurangi tingkat kejadian dan untuk meningkatkan deteksi terhadap produk cacat bila kapabilitas proses tidak dapat ditingkatkan.

Kerusakan suatu alat atau komponen yang timbul dari suatu mesin akan memiliki dampak yang cukup besar bagi sebuah perusahaan dalam proses produksinya. Bermacam-macam kerusakan akan memiliki efek dan akibat yang berbeda-beda terhadap kinerja mesin. Oleh karena itu, apabila kerusakan tersebut dapat dicari penyebabnya, bukan tidak mungkin bisa diantisipasi dan dicegah terlebih dahulu. Berikut merupakan contoh dari tabel *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) :

Tabel 2.1 Tabel FMEA

RCM II Information Worksheet	**Sistem :**							
	Sub-sistem :							
	Fungsi sub-sistem:							
NO	***Equipment***	***Function***	***Funtion Failure***	***Failure mode***	***Effect of Failure***	**S**	**O**	**D**	**RPN**

Sumber : Gaspersz, 2002

Pada tabel diatas, untuk kolom *equipment* diisikan dari nama komponennya, kolom *function* diisikan fungsi dari komponen tersebut, kolo *function failure* diisikan kegagalan atau kerusakan komponen dalam menjalankan fungsinya, kolom *failure mode* diisikan penyebab dari kegaggalan atau kerusakan yang terjadi pada komponen dan *effect of failure* diisikan kemungkinan-kemungkinan yang terjadi apabial terjadi kegagalan atau kerusakan. Sedangkan untuk pengisian S (*severity),* O (*occurance*) dan D (*detection*) perlu disesuikan dengan tabel..

Skala pertama yaitu tingkat keparahan (Severity). *Severity* adalah penilaian terhadap keseriusan dari efek yang ditimbulkan. Dalam arti setiap kegagalan yang timbul akan dinilai seberapa besarkah tingkat keseriusannya. Terdapat hubungan secara langsung antara efek dan *severity*. Sebagai contoh, apabila efek yang terjadi adalah efek yang kritis, maka nilai *severity* pun akan tinggi. Dengan demikian, apabila efek yang terjadi bukan merupakan efek yang kritis, maka nilai severity pun akan sangat rendah.

Skala kedua yaitu tingkat kejadian (*Occurance*). *Occurance* adalah kemungkinan bahwa penyebab tersebut akan terjadi dan menghasilkan bentuk kegagalan selama masa penggunaan produk. *Occurance* merupakan nilai rating yang disesuaikan dengan frekuensi yang diperkirakan dan atau angka kumulatif dari kegagalan yang dapat terjadi.

Skala ketiga yaitu metode deteksi (Detection). Nilai *detection* diasosiasikan dengan pengendalian saat ini. *Detection* adalah pengukuran terhadap kemampuan mengendalikan atau mengontrol kegagalan yang dapat terjadi. Setelah rating ditentukan selanjutnya hasil RPN menunjukan tingkatan prioritas peralatan yang

dianggap beresiko tinggi, sebagai petunjuk kearah tindakan perbaikan. RPN dapat ditunjukan dengan persamaan sebagai berikut (Gasperz, 2002) :

$$RPN = severity \times occurrence \times detection \quad \text{..... (2.1)}$$

Berikut merupakan tabel penilaian untuk S (*severity)*, O (*occurance*) dan D (*detection*):

Tabel 2.2 Rating *Severity*

Rating *Severity* Pada FMEA Perawatan			
Ranking	**Akibat**	**Kriteria Verbal**	**Akibat Pada Produksi**
1	Tidak ada akibat	Tidak mengakibatkan apa-apa (tidak akibat), penyesuaian yang diperlukan	Proses dalam pengendalian dengan tanpa
2	Akibat sangat ringan	Mesin tetap beroperasi dan aman, hanya terjadi sedikit gangguan peralatan yang tidak berarti, akibat hanya dapat diketahui oleh operator berpengalaman	Proses dalam pengendalian, hanya membutuhkan sedikit perawatan
3	Akibat ringan	Mesin tetap beroperasi dan aman, hanya terjadi sedikit gangguan peralatan yang tidak berarti, akibat hanya dapat diketahui oleh rata-rata operator	Proses telah berada diluar pengendalian, beberapa penyesuaian diperlukan.
4	Akibat minor	Mesin tetap beroperasi dan aman, hanya terjadi sedikit gangguan, akibat hanya dapat diketahui oleh semua operator	Kurang dari 30 menit *downtime* atau tidak ada kehilangan waktu produksi.
5	Akibat moderat	Mesin tetap beroperasi dan aman, namun telah menimbulkan kegagalan produk. Operator merasa tidak puas, karena tingkat kerja berkurang.	30 - 60 menit *downtime*
6	Akibat signifikan	Mesin tetap dapat beroperasi dan aman, tetapi menimbulkan kegagalan produk. Operator merasa sangat tidak puas dengan kinerja mesin.	1 - 2 jam *downtime*
7	Akibat major	Mesin tetap dalam beroperasi, tetapi tidak dapat dijalankan	2 – 4 jam *downtime*

Rating *Severity* Pada FMEA Perawatan			
Ranking	**Akibat**	**Kriteria Verbal**	**Akibat Pada Produksi**
		secara penuh. Operator merasa sangat tidak puas.	
8	Akibat ekstrem	Mesin tetap dapat beroperasi, telah kehilangan fungsi utama mesin.	4 – 8 jam *downtime*
9	Akibat serius	Mesin gagal beroperasi, serta tidak sesuai dengan peraturan keselamatan kerja.	> 8 jam *downtime*
10	Akibat berbahaya	Mesin tidak layak di operasikan, karena dapat menimbulkan kecelakaan secara tiba-tiba dan bertentangan dengan peraturan keselamatan kerja	> 8 jam *downtime*

Sumber : Gaspersz, 2002

Tabel 2.3 Rating *Occurance*

Rating *Severity* Pada FMEA Perawatan			
Ranking	**Kejadian**	**Kriteria Verbal**	**Tingkat kejadian kerusakan**
1	Hampir tidak pernah	Kerusakan hampir tidak pernah terjadi	> 10.000 jam operasi
2	*Remote*	Kerusakan jarang terjadi	6.001-10.000 jam operasi
3	Sangat sedikit	Kerusakan terjadi sangat sedikit	3.001-6.000 jam operasi
4	Sedikit	Kerusakan terjadi sedikit	2.001- 3.000 jam operasi
5	Rendah	Kerusakan terjadi pada tingkat rendah	1.001- 2.000 jam operasi
6	Medium	Kerusakan terjadi pada tingkat medium	401- 1.000 jam operasi
7	Agak tinggi	Kerusakan terjadi agak tinggi	101- 100 jam operasi
8	Tinggi	Kerusakan terjadi tinggi	11- 10 jam operasi
9	Sangat tinggi	Kerusakan terjadi sangat tinggi	2- 10 jam operasi
10	Hampir selalu	Kerusakan selalu terjadi	< 2 jam operasi

Sumber : Gaspersz, 2002

Tabel 2. 4 Rating *Detection* (Gaspersz, 2002)

Rating *Detection*		
Ranking	**Kejadian**	**Kriteria Verbal**
1	Hampir pasti	Perawatan *preventive* akan selalu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan.
2	Sangat tinggi	Perawatan *preventive* memiliki kemungkinan sangat tinggi untuk mampu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan.
3	Tinggi	Perawatan *preventive* memiliki kemungkinan tinggi untuk mampu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan.
4	*Moderately high*	Perawatan *preventive* memiliki kemungkinan *moderate high* untuk mampu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan.
5	*Moderate*	Perawatan *preventive* memiliki kemungkinan *moderate* untuk mampu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan.
6	Rendah	Perawatan *preventive* memiliki kemungkinan rendah untuk mampu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan.
7	Sangat rendah	Perawatan *preventive* memiliki kemungkinan sangat rendah untuk mampu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan.
8	*Remote*	Perawatan *preventive* memiliki kemungkinan *remote* untuk mampu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan.
9	*Very remote*	Perawatan *preventive* memiliki kemungkinan *very remote* untuk mampu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan.
10	Tidak pasti	Perawatan *preventive* akan selalu tidak mampu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan metode kegagalan.

Sumber : Gaspersz, 2002

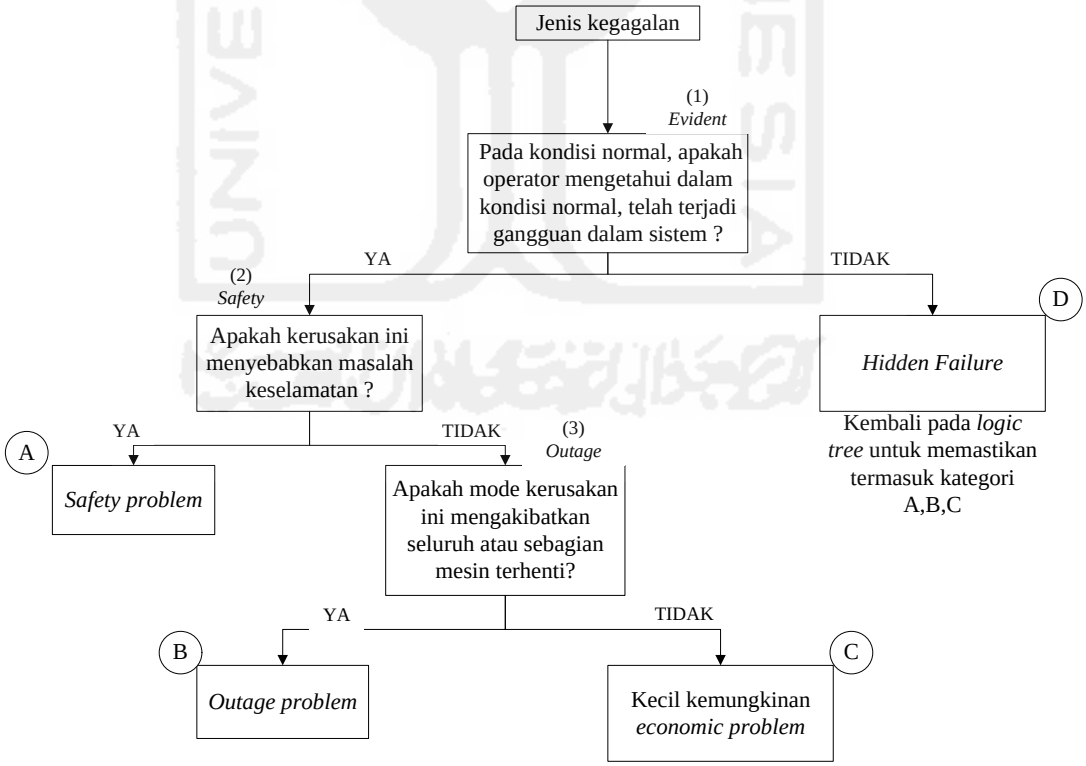
2.4.1.6 *Logic Tree Analysis* (LTA)

Penyusunan *Logic Tree Analysis* (LTA) bertujuan untuk membedakan prioritas pada setiap jenis kerusakan dan melakukan tinjauan fungsi dan kegagalan fungsi. Prioritas pada setiap jenis kerusakan diketahui dengan menjawab pertanyaan-pertanyaan yang

ada pada LTA. Analisis kekritisan menentukan setiap jenis kerusakan ke dalam empat kategori. Keempat analisis kekritisan itu sebagai berikut (Smith and Glenn, 2004) :

1. *Evident*, yaitu apakah operator mengetahui dalam kondisi normal, telah terjadi gangguan dalam sistem ?
2. *Safety*, yaitu apakah kerusakan ini menyebabkan masalah keselamatan ?
3. *Outage*, yaitu apakah mode kerusakan ini mengakibatkan seluruh atau sebagian mesin terhenti ?
4. *Category*, yaitu pengkategorian setelah menjawab pertanyan-pertanyaan yang diajukan. Pengkategorian terbagi menjadi 4 kategori yaitu :
   a. Kategori A *(Safety Problem)*
   b. Kategori B *(Cutage problem)*
   c. Kategori C (*Economic problem)*
   d. Kaetgori D *(Hidden problem)*

Berikut merupakan struktur pertanyaan pada *Logic Tree Analysis* (LTA) :

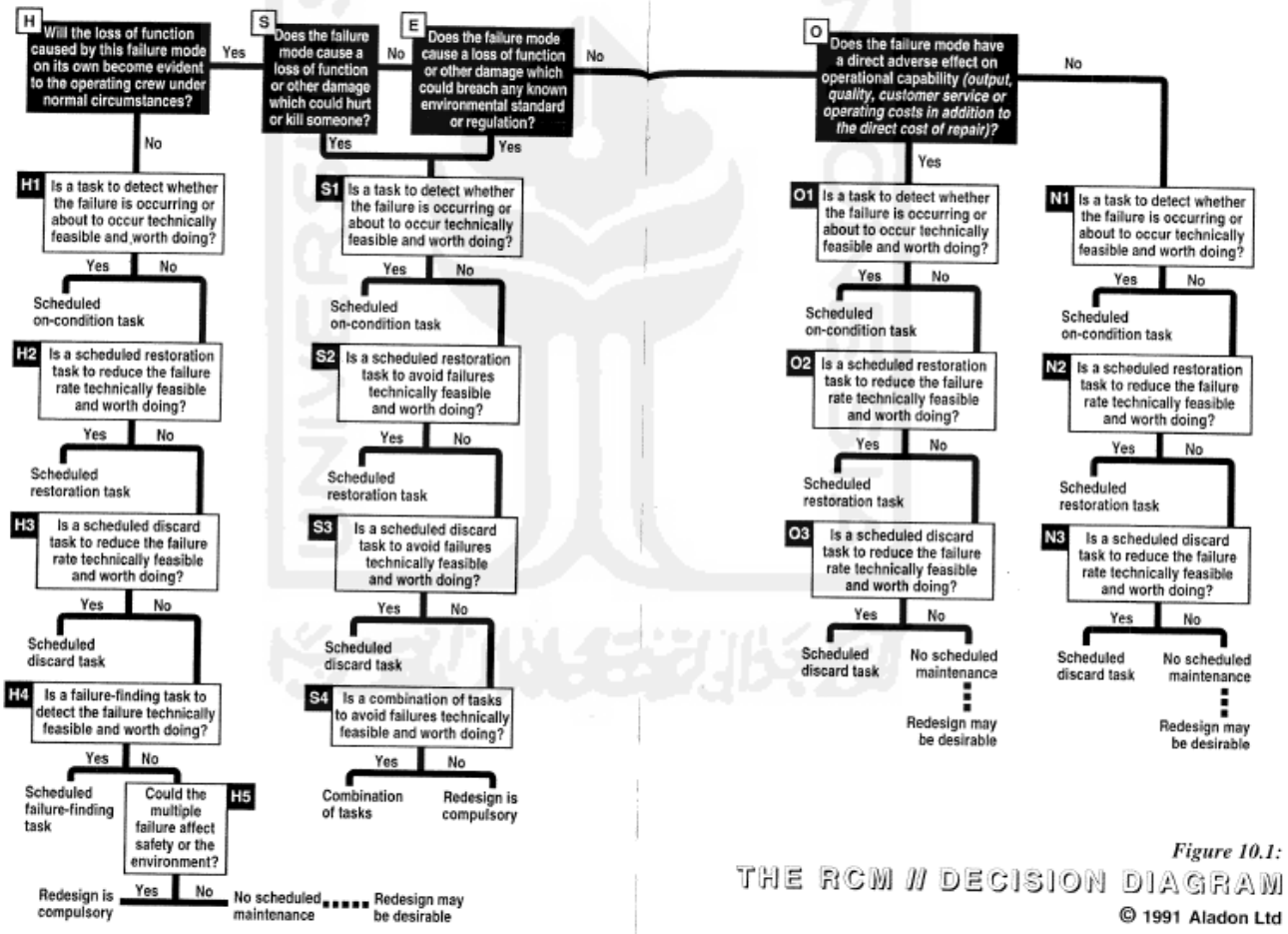


Gambar 2.2 Struktur *Logic Tree Analysis*

Sumber : Smith dan Glenn, 2004

2.4.2 RCM II *Decision Worksheet*

Pada tahap ini merupakan pengabungan dan analisa dengan tabel FMEA dan mengetehui konsekuensi kegagalan pada tahap LTA serta dengan menggunakan RCM *dicision diagram*. Penggunaan RCM *dicision diagram* untuk menentukan tugas atau *task* yang diusulkan pada kejadiaan kegagalan yang ada. *Task* tersebut terbagi menjadi 4 bagian antara lain *scheduled discard task, scheduled restoration task, scheduled on-condition task* dan *combination of task.* Berikut ini merupakan *decision diagram* dalam menentukan tugas atau *task* yang diusulkan dan tabel *worksheet diagram* :



Gambar 2.3 Decision Diagram

Sumber: John Moubray, 1997

Tabel 2.5 RCM II *Decision Worksheet*

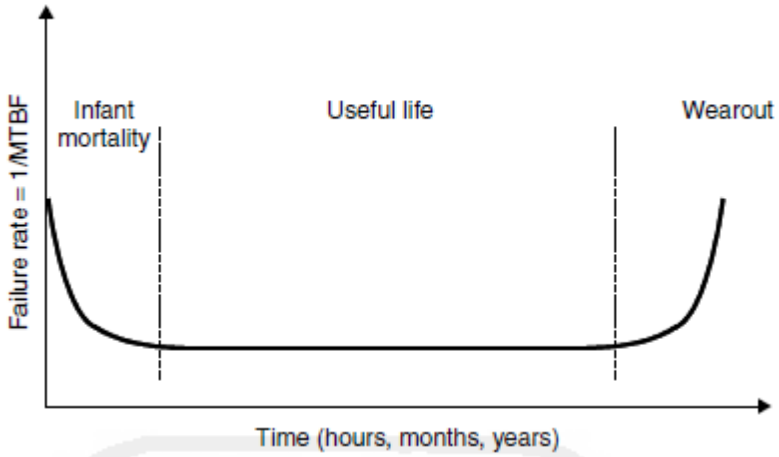
<table>
<tr><td colspan="2" rowspan="3">RCM II
Decision Worksheet</td><td colspan="11">Sistem :</td><td colspan="2" rowspan="3">Date :</td><td>Sheet No</td></tr>
<tr><td colspan="11">Sub-sistem :</td><td>Of.</td></tr>
<tr><td colspan="11">Fungsi sub-sistem :</td></tr>
<tr><td colspan="3" rowspan="2">Information Reference</td><td rowspan="2">Consequence Evaluation</td><td>H1</td><td>H2</td><td>H3</td><td colspan="3" rowspan="2">Default Action</td><td rowspan="3">Proposed Task</td><td rowspan="3">Initial Interval (hours)</td><td rowspan="3">Can be done by</td></tr>
<tr><td>S1</td><td>S2</td><td>S3</td></tr>
<tr><td>No</td><td>Equipment</td><td>F</td><td>FF</td><td>FM</td><td>H</td><td>S</td><td>E</td><td>O</td><td>E1
O1</td><td>E2
O2</td><td>E3
O3</td><td>H4</td><td>H5</td><td>S4</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

Sumber : Moubray, 1997

RCM II *Decision Worksheet* pengisian kolom F, FF, dan FM diisi sesuai denga tabel FMEA. Untuk kolom H, S, E, O, H1, H2, H3, S1, S2, S3, E1, E2, E3, O1, O2, O3, H4, H5 dan S4 diisi berdasarkan hasil *decisioin diagram* atau *logic tree analysis.*

2.5 Keandalan

Keandalan adalah probabilitas bahwa suatu komponen atau sistem akan menginformasikan suatu fungsi yang dibutuhkan dalam periode waktu tertentu ketika digunakan dalam kondisi operasi (Ebeling, 1997). Secara umum konsep keandalan dapat digambarkan dalam *Bathtub Curve* yang menjelaskan siklus hidup *item* atau komponen.



Gambar 2.4 *Bathtub Curve*

Sumber : Moubray, 1997

Fase *mortality*, merupakan fase dimana suatu sistem mengalami penurunan, yang biasanya hal ini merupakan ciri awal penggunaan mesin. Pada fase ini menunjukkan terjadinya kerusakan dini dan probabilitas kerusakan pada saat ini akan lebih besar dibandingkan disaat yang akan datang. Fase kedua yaitu fase *useful life* merupakan fase dimana laju kerusakan yang terjadi cenderung konstan. Kerusakan yang terjadi biasanya diakibatkan oleh pembebanan yang tiba-tiba yang besarnya diluar batas kemampuan komponen atau kondisi ekstrim lainnya. Pada fase ketiga yaitu fase *wearout*, pada fase ini laju kerusakaan yang akan meningkat tajam. Hal ini dikarenakan mulai memburuknya kondisi alat atau komponen yang biasanya pemakaiannya melebihi umur komponen.

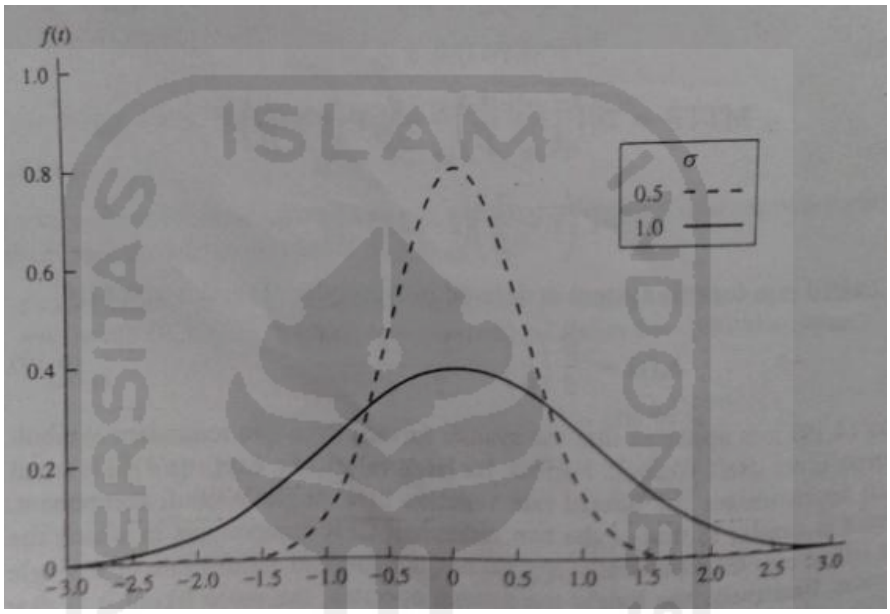
2.6 Fungsi Distribusi Kegagalan

Terdapat 4 macam distribusi yang digunakan untuk mengetahui pola data yang terbentuk. Distribusi itu adalah distribus normal,*weibul, lognormal* dan eksponensial (Ebeling, 1997):

2.6.1 Fungsi Distribusi Normal

Distribusi normal menggambarkan berbagai gejala yang muncul di alam, industri dan penelitian. Pengukuruan fisik di bidang seperti percobaan meteorology, penelitian curah hujan dan pengukuran suku cadang yang sering diproduksi sering dengan baik

dapat diterangkan menggunkan distribusi ini (Walpole, 1982). Distribusi normal telah berhasil digunakan untuk memodelkan kelelahan dan fonomena *wearout* (masa habis) suatu *item*. Karena ada hubungannya dengan distribusi lognormal, maka dapat berguna dalam menganalisis probabilitas lognormal. Fungsi distribusi normal memberikan kurva berbentuk lonceng dapat ditampilkan seperti gambar dibawah ini (Ebeling, 1997) :



Gambar 2.5 Distribusi Normal

Sumber: Ebeling, 1997

Fungsi-fungsi dalam distribusi normal adalah sebagai berikut :

a. Fungsi kepadatan probabilitas (*probability density function*)

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[\frac{-(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad \text{..... (2.2)}$$

untuk - $\infty < t < \infty$ dimana t = waktu

b. Fungsi kumulatif kerusakan (*cumulative density function*)

$$F(t) = \phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \quad \text{..... (2.3)}$$

c. Fungsi keandalan (*realibility function*)

$$R(t) = 1 - F(t) \quad \text{..... (2.4)}$$

$$R(t) = 1 - \phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \quad \text{..... (2.5)}$$

d. Fungsi laju kerusakan

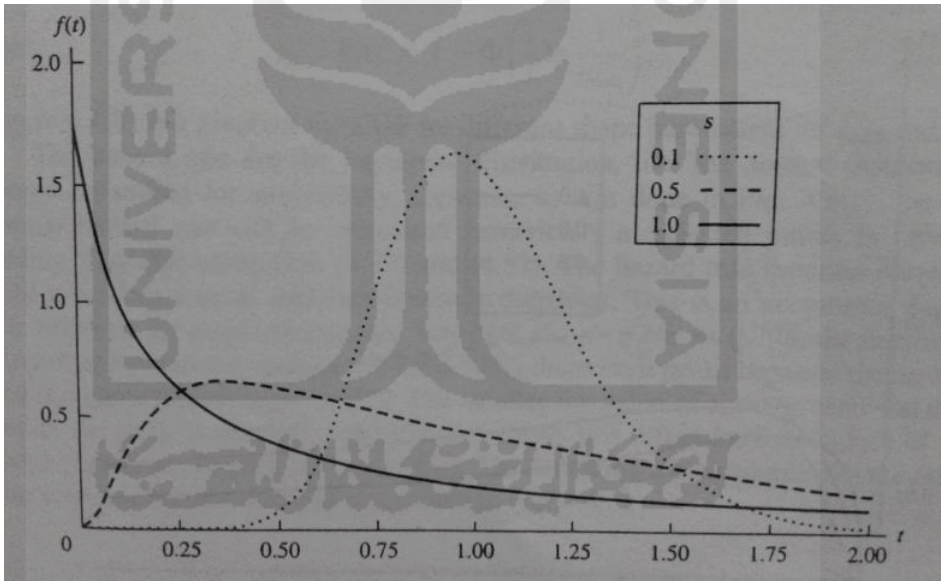
$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1-\phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)} \quad \text{..... (2.6)}$$

e. *Mean Time To Failure* (MTTF)

MTTF = μ ..... (2.7)

2.6.2 Fungsi Distribusi Lognormal

Distribusi normal menggunakan dua parameter dimana parameter s adalah *shape parameter* dan t_{med} sebagai parameter lokasi yang menjadi nilai tengah waktu kerusakan. Distribusi ini hanya mendefinisikan nilai-nilai positif dari t dan karena itu lebih tepat daripada distribusi normal sebagai distribusi kegagalan. Distribusi ini memiliki berbagai macam bentuk, sering terjadi data yang sesuai dengan distribusi *weibull* juga akan cocok dengan distribusi lognormal (Ebeling, 1997). Berikut merupakan gambar fungsi distribusi lognormal :



Gambar 2.6 Distribusi Lognormal

Sumber: Ebeling, 1997

Fungsi-fungsi dalam distribusi lognormal adalah sebagai berikut :

a. Fungsi kepadatan probabilitas (*probability density function*)

$$f(t) = \frac{1}{t.s\sqrt{2\pi}} exp\left\{-\frac{1}{2s^2}\left[\ln\frac{t}{t_{med}}\right]^2\right\} \quad \text{..... (2.8)}$$

b. Fungsi kumulatif kerusakan (*cumulative density function*)

$$F(t) = \phi\left(\frac{\ln(t)-\mu}{\sigma}\right) \quad \text{..... (2.9)}$$

c. Fungsi keandalan (*realibility function*)

$$F(t) = 1 - \phi\left(\frac{\ln(t)-\mu}{\sigma}\right) \quad \text{..... (2.10)}$$

d. Fungsi laju kerusakan

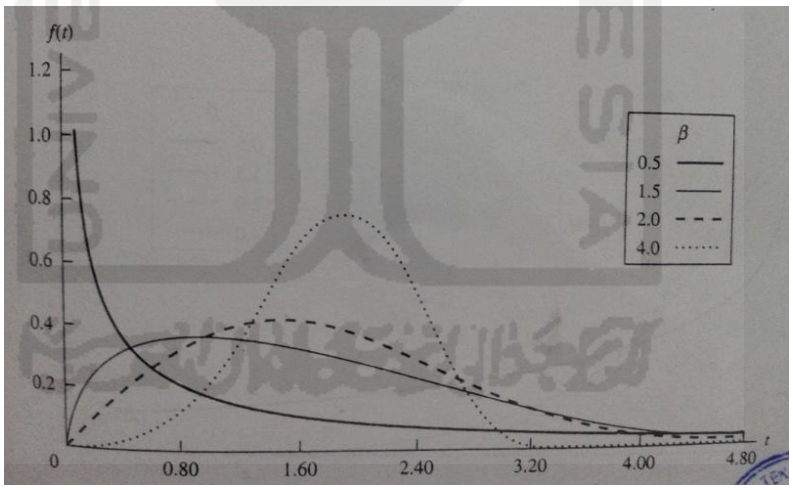
$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1-\phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)} \quad \text{..... (2.11)}$$

e. *Mean Time To Failure* (MTTF)

$$\text{MTTF} = exp\left(\mu + \frac{\sigma^2}{2}\right) \quad \text{..... (2.12)}$$

2.6.3 Fungsi Distribusi Weibul

Distribusi *Weibull* merupakan distribusi yang sering digunakan dalam waktu kerusakan komponen. Ada dua parameter yang digunakan dalam distribusi ini yaitu θ sebagai parameter skala (*scale parameter*) dan β sebagai parameter bentuk (*shape parameter*). Berikut merupakan gambar fungsi distribusi *weibull* :



Gambar 2.7 Distribusi Weibull

Sumber: Ebeling, 1997

Fungsi-fungsi dalam distribusi weibul adalah sebagai berikut :

a. Fungsi kepadatan probabilitas (*probability density function*)

$$f(t) = \frac{\beta}{\alpha}\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta}\right] \quad \text{..... (2.13)}$$

Untuk $t > 0$

b. Fungsi kumulatif kerusakan (*cumulative density function*)

$$F(t) = 1 - \exp\left[\left(-\frac{t}{\theta}\right)^{\beta}\right] \quad \text{..... (2.14)}$$

c. Fungsi keandalan (*realibility function*)

$$R(t) = 1 - F(t) \quad \text{..... (2.15)}$$

$$R(t) = exp\left[\left(-\frac{t}{\theta}\right)^{\beta}\right] \quad \text{..... (2.16)}$$

d. Fungsi laju kerusakan

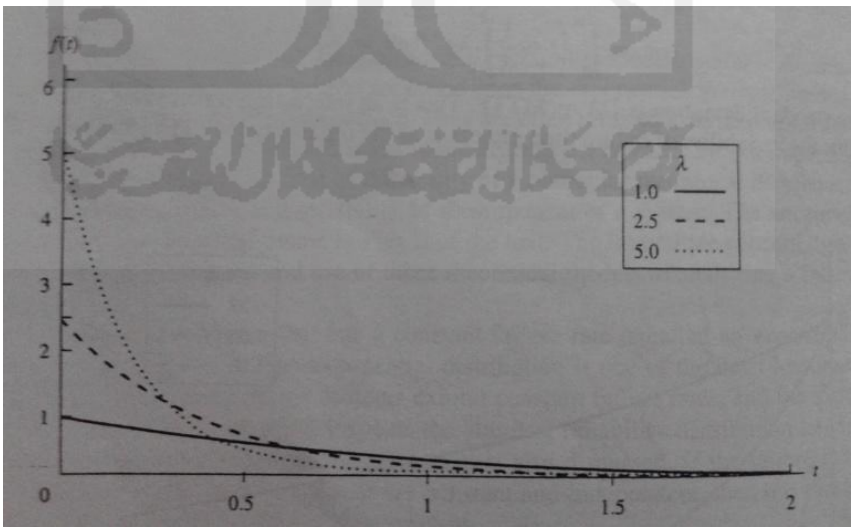
$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\beta}{\theta}\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} \quad \text{..... (2.17)}$$

e. *Mean Time To Failure* (MTTF)

$$\text{MTTF} = \alpha\,\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad \text{..... (2.18)}$$

2.6.4 Fungsi Distribusi Eksponensial

Distribusi eksponensial digunakan dalam menghitung tingkat keandalan dengan memiliki laju kerusakan yang konstan. Tingkat kegagalan konstan menunjukan kegagalan secara acak dan independen dari waktu ke waktu. Parameter yang digunakan adalah λ (Ebeling, 1997). Berikut ini merupakan gambar fungsi distribusi eksponensial :



Gambar 2.8 Distribusi Eksponensial

Sumber: Ebeling, 1997

Fungsi-fungsi dalam distribusi eksponensial adalah sebagai berikut :

a. Fungsi kepadatan probabilitas (*probability density function*)

$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$ ..... (2.19)

Untuk $t \geq 0$; $\lambda \geq 0$; dan dengan t = waktu

b. Fungsi kumulatif kerusakan (*cumulative density function*)

$f(t) = 1 - \exp(-\lambda t)$ ..... (2.20)

c. Fungsi keandalan (*realibility function*)

$R(t) = \exp(-\lambda t)$ ..... (2.21)

d. Fungsi laju kerusakan

$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \lambda$ ..... (2.22)

a. *Mean Time To Failure* (MTTF)

MTTF = $\frac{1}{\lambda}$ ..... (2.23)

2.7 Uji Kecocokan

Untuk mengetahui apakah distribusi pengamatan sesuai dengan yang diharapkan, maka perlu untuk mempertimbangkan distribusi menurut pengamatan dengan distribusi menurut nilai-nilai teoritis. Pengujian kecocokan distribusi yang digunakan adalah uji *Goodness of Fit*. Uji digunakan karena uji tersebut memiliki probabilitas yang lebih besar dalam menolak suatu distribusi yang tidak sesuai (Ebeling, 1997).

Pada uji *Goodness of Fit* terbagi menjadi dua jenis yaitu uji umum (*General Test)* dan uji khusus (*Spesifik Test*). *General Test* digunakan untuk ukuran sampel yang lebih besar yang biasanya menggunakan *Chi Square Test.* Untuk *Spesific Tets* menggunakan *Least Square Test* dengan ukuran sampel yang lebih kecil. Yang termasuk dalan uji khusus yaitu *Barlett Test* untuk distribusi Eksponens, *Mann's Test* untuk distribusi Weibull dan *Kolmogorov-Smirnov Test* untuk distribusi normal dan Lognormal (Ebeling, 1997)

2.7.1 *Barlett Test* untuk pengujian distribusi Eksponensial

H_0 : Data *time to failure* berdistribusi eksponensial

H_1 : Data *time to failure* tidak berdistribusi eksponensial

$$B = \frac{2r\left[\ln(\frac{1}{r})\sum_{i=1}^{r} ti\right)-(\frac{1}{r})\sum_{i=1}^{r}\ln ti\Big]}{1+(r+1)/(6r)} \quad \text{..... (2.24)}$$

Keterangan : ti = waktu kerusakan ke-*i*

r = jumlah kerusakan

Data waktu antar kerusakan berdistribusi eksponensial apabila

$$X^2_{(1-\frac{\alpha}{2},\ r-1)} < B < X^2_{(1-\frac{\alpha}{2},\ r-1)} \quad \text{..... (2.25)}$$

2.7.2 *Mann's Test* untuk distribusi Weibull

H_0 : Data *time to failure* berdistribusi Weibull

H_1 : Data *time to failure* tidak berdistribusi Weibull

$$M = \frac{k_1 \sum[(\ln t_{i+1} - ln\, ti_1)/M_i]}{k_2 \sum[(\ln t_{i+1} - ln\, ti_1)/M_i]} \quad \text{..... (2.26)}$$

$$k_1 = \left[\frac{r}{n}\right] \quad \text{..... (2.27)}$$

$$k_2 = \left[\frac{r-1}{2}\right] \quad \text{..... (2.28)}$$

$$M_i = Z_{i+1} - Z_i \quad \text{..... (2.29)}$$

$$Z_i = ln\left[-\ln(1 - \frac{i-0,5}{n+0,25})\right] \quad \text{..... (2.30)}$$

Keterangan : *ti* = data antar waktu kerusakan ke-*i*

n = jumlah data antar kerusakan suatu komponen

M_1 = nilai pendekatan Mann untuk data ke-*i*

M = nilai perhitungan distribusi Weibull

$M_{0,05;k_2;k_1}$ = nilai distribusi Weibull

r = banyaknya data

$k_1 = \left[\frac{r}{n}\right]$

$k_2 = \left[\frac{r-1}{2}\right]$

Bila $M_{hitung} < F_{crit}$ maka H_0 diterima. Nilai F_{crit} diperoleh dari tabel distribusi *F* dengan α = 0,05

2.7.3 *Kolmogorov-Smirnov Test* untuk distribusi normal dan Lognormal

H_0 : Data *time to failure* berdistribusi normal (lognormal)

H_1 : Data *time to failure* tidak berdistribusi normal (lognormal)

$D_n = \max(D_1, D_2)$ ..... (2.31)

$D_1 = \max\left\{\phi\left(\frac{ti-\bar{t}}{s}\right) - \left(\frac{i-1}{n}\right)\right\}$ ..... (2.32)

$D_2 = \max\left\{\left(\frac{i}{n}\right) - \phi\left(\frac{ti-\bar{t}}{s}\right)\right\}$ ..... (2.33)

$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(ti-\bar{t})^2}{n-1}}$ ..... (2.34)

Keterangan: *ti = time to failure* ke-*i*

$\bar{t}$ = rata-rata *time to failure*

s = *standar* deviasi

n =banyaknya data

Jika $D_n < D_{crit}$ maka H_0 diterima. Nilai D_{crit} diperoleh dari table *critical values for Kolmogorov-Smirnov Test for Normality (Lliefors Test).* Perbedaan penggunaan pengujian ini untuk distribusi normal dan lognormal adalah pada distribus lognormal nilai *ti = ln (ti).*

2.8 Identifikasi Parameter

Pengidentifikasi parameter untuk distribusi kerusakan dapat dilakukan dalam dua tahap, yaitu identifikasi distribusi awal dan estimasi parameter.

2.8.1 Identifikasi Distribusi Awal

a. Nilai tengah kerusakan (*media rank*)

$F(ti) = \frac{i-0,3}{n+0,4}$ ..... (2.35)

Keterangan : i = data waktu ke t

n = jumlah kejadian atau kerusakan

b. *Index of Fit*

$$r = \frac{n\sum_{i=1}^{n} x_i y_i - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)\left(\sum_{i=1}^{n} y_i\right)}{\sqrt{\left[n\left(\sum_{i=1}^{n} x_i{}^2\right) - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)^2\right]\left[n\left(\sum_{i=1}^{n} y_i{}^2\right) - \left(\sum_{i=1}^{n} y_i\right)^2\right]}} \quad \text{..... (2.36)}$$

Menurut Ebeling(1997) perhitungan identifikasi distribusi awal untuk masing-masing distribusi adalah sebagai berikut :

1. Distribusi Normal

   $Xi = ti$ ..... (2.37)

   $Yi = Zi = \phi^{-1}[F(ti)] = \frac{ti-\mu}{\sigma}$ ..... (2.38)

   Dimana *ti* adalah data ke-*i*

2. Distribusi Lognormal

   $Xi = ti$ ..... (2.39)

   $Yi = Zi = \phi^{-1}[F(ti)] = \phi^{-1}\left[\left(\frac{1}{s}\right)\ln ti - \left(\frac{1}{s}\right)\ln t_{med}\right]$ ..... (2.40)

   Nilai Zi = $\phi^{-1}[F(ti)]$ didapat dari tabel *Standard Normal Probabilities.*

3. Distribusi Weibull

   $Xi = ti$ ..... (2.41)

   $Yi = Zi = ln\left[ln\left(\frac{1}{1-F(t)}\right)\right]$ ..... (2.42)

4. Distribusi Eksponensial

   $Xi = ti$ ..... (2.43)

   $Yi = ln\left[\frac{1}{1-F(t)}\right]$ ..... (2.44)

2.8.2 Estimasi Parameter

Menurut Ebeling (1997) estimasi parameter menggunakan metode *Maximum Likelihood Estimator* (MLE), untuk parameter masing-masing distribusinya adalah sebagai berikut :

a. Distribusi Normal

$$\mu = \sum_{i=1}^{n} ti \quad \text{..... (2.45)}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(ti-\mu)^2}{n-1}} \quad \text{..... (2.46)}$$

Keterangan :

ti= data waktu kerusakan ke-

n= banyaknya data kerusakan

μ= nilai tengah

σ= standard deviasi

b. Distribusi Lognormal

$$\hat{\mu} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \ln ti}{n} \quad \text{..... (2.47)}$$

$$\hat{s} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(ln\, t_i-\hat{\mu})^2}{n}} \quad \text{..... (2.48)}$$

$$t_{med} = e^{\mu} \quad \text{..... (2.49)}$$

Keterangan :

ti= data waktu kerusakan ke-

n= banyaknya data kerusakan

μ= nilai tengah

s= standard deviasi

c. Distribusi Weibul

$$\beta = b = \frac{n\sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad \text{..... (2.50)}$$

$$\text{a} = \frac{\sum y_i}{n} - \frac{b\ \sum x_i}{n} \quad \text{.....(2.51)}$$

$$\theta = exp^{-a/\beta} \quad \text{..... (2.52)}$$

Keterangan :

ti = data waktu kerusakan ke-*i*

d. Distribusi Eksponensial

$$\lambda = \frac{n}{T} \quad \text{..... (2.53)}$$

Keterangan:

n= jumlah kerusakan

T= $\sum_{ti}^{r} ti$yaitu jumlah waktu kerusakan

2.9 *Mean Time To Failure*

Mean time to failure merupakan rata-rata selang waktu suatu kerusakan dari sebuah distribusi kerusakan dan rata-rata waktu ini menjadi waktu ekspektasi terjadi sebuah kerusakan yang beroperasi saat kondisi berjalan normal.

Berikut merupakan nilai MTTF untuk masing-masing jenis distribusi yang digunakan adalah (Ebeling, 1997)

a. Distribusi Normal

$$\text{MTTF} = \mu \quad \text{..... (2.54)}$$

b. Distribusi Lognormal

$$\text{MTTF} = t_{med}\ e^{\frac{s^2}{2}} \quad \text{..... (2.55)}$$

c. Distribusi Weibull

$$\text{MTTF} = \theta\, \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad \text{..... (2.56)}$$

Nilai $\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$ → didapat dari Γ(x) = tabel dari fungsi gamma

d. Distribusi Eksponensial

$$\text{MTTF} = \frac{1}{\lambda} \quad \text{..... (2.57)}$$

2.10 *Mean Time To Repair*

Mean time to repair merupakan rata-rata atau penentuan nilai tengah dari fungsi probabilitas waktu perbaikan. Penentuan pengujian ini dilakukan dengan cara yang sama seperti penentuan *mean time to failure*.

Berikut merupakan nilai MTTF untuk masing-masing jenis distribusi yang digunakan adalah (Ebeling, 1997)

a. Distribusi Normal

$$MTTF = \mu \quad \text{..... (2.58)}$$

b. Distribusi Lognormal

$$MTTF = t_{med}\ e^{\frac{s^2}{2}} \quad \text{..... (2.59)}$$

c. Distribusi Weibull

$$MTTF = \theta\ \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad \text{..... (2.61)}$$

Nilai $\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$ → didapat dari $\Gamma(x)$ = tabel dari fungsi gamma

d. Distribusi Eksponensial

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad \text{..... (2.61)}$$

2.11 Model Perawatan

2.11.1 Model pergantian pencegahan *Age Replecement*

Dalam model *Age Replecement*, intinya pada saat dilakukan pergantian adalah tergantung pada umur komponen, jadi penggantian pencegahan akan dilakukan dengan menetapkan kembali interval waktu pergantian berikutnya sesuai dengan interval yang telah ditentukan (Jardine, 1973). Rumus biaya penggantian pencegahan dengan model *age replacement* adalah sebagai berikut :

$$C(tp) = \frac{Total\ ekspektasi\ \ biaya\ perawatan\ \ penggantian\ \ per\ siklus}{Ekspektasi\ \ panjang\ \ siklus} \quad \text{..... (2.62)}$$

Dimana :

1. Ekspektasi Biaya Perawatan Per Siklus

   = (ekspektasi biaya total pada siklus pencegahan x probabilitas terjadinya siklus pencegahan) + (ekspektasi biaya total pada siklus kerusakan x probabilitas terjadinya siklus kerusakan)

   $= \left(C_p . R_{(tp)}\right) + \left[C_f . \left(1 - R_{(tp)}\right)\right]$ ..... (2.63)

2. Ekspektasi Panjang Siklus

= (ekspektasi panjang siklus x probabilitas terjadinya siklus perencanaan) + (ekspektasi panjang siklus kerusakan x probabilitas terjadinya siklus kerusakan)

$= \left[(tp + Tp).R_{(tp)}\right] + \left[\left(M_{(tp)} + Tf\right).\left(1 - R_{(tp)}\right)\right]$ ..... (2.64)

Nilai interval rata-rata terjadinya kerusakan yang disimbolkan dengan $M_{(tp)}$ yaitu :

$M_{(tp)} = \frac{MTTF}{1-R_{(tp)}}$ ..... (2.65)

Dengan demikian model penentuan interval penggantian pencegahan dengan kriteria minimasi biaya dapat dirumuskan sebagai berikut :

$C_{(tp)} = \frac{(C_p.R_{(tp)})+[C_f.(1-R_{(tp)})]}{[(tp+Tp).R_{(tp)}]+[(M_{(tp)}+Tf).(1-R_{(tp)})]}$ ..... (2.66)

Keterangan :

tp = Interval waktu penggantian pencegahan
Tp = Waktu untuk melakukan penggantian *preventive* (pencegahan)
Tf = Waktu untuk melakukan penggantian *corective* (kerusakan)
Cp = Biaya penggantian *preventive*
Cf = Biaya penggantian *corective*
$R_{(tp)}$ = Probabilitas terjadinya penggantian pencegahan pada saat tp
Tp+tp = Panjang siklus pencegahan
$C_{(tp)}$ = Ekspektasi total biaya pergantian komponen per satuan waktu

2.11.2 Perhitungan Keandalan (*Reliability*) Sebelum dan Sesudah Dilakukan Tindakan Perawatan Pencegahan

Untuk sistem yang komplek dalam peningkatan keandalan dapat dicapai dengan program perawatan pencegahan. Program perawatan pencegahan dapat mengurangi effek penuaan atau *wearout* dan dapat menunjukan hasil yang signifikan terhadap umur mesin. Mengikuti model keandalan ini diasumsikan sistem kembali ke kondisi

semula atau baru setelah menjalani perawatan pencegahan (Ebeling, 1997). Keandalan pada saat *t* dinyatakan sebagai berikut :

$Rm(t) = R(t)$ untuk $0 \leq t < T$ ..... (2.67)

$Rm(t) = R(t).R(t-T)$ untuk $T \leq t < 2T$ ..... (2.68)

Keterangan :

T = interval waktu penggantian pencegahan kerusakan

$Rm(t)$ = keadalan (*reliability*) dari sistem perawatan pencegahan

$R(t)$ = keandalan sistem tanpa perawatan pencegahan

$R(T)$ = peluang dari keandalan hingga perawatan pencegahan pertama

$R(t-T)$ = peluang dari keandalan antar t-T setelah sistem dikembalikan pada kondisi awal saat T