

BAB II

KAJIAN LITERATUR

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai perawatan *preventive* mesin pernah dilakukan oleh (Sayuti et al, 2013) yang berjudul Evaluasi Manajemen Perawatan Mesin dengan menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM II) Di PT. Z.

Penelitian ini berfokus pada menentukan kegiatan interval perawatan mesin berdasarkan pada RCM II Metode penelitian yang digunakan adalah Reliability Centered Maintenance II dengan memadukan analisis kualitatif yang meliputi FMEA dan RCM II Decision Worksheet. Metode Reliability Centered Maintenance II ini digunakan untuk menentukan kegiatan interval perawatan berdasarkan pada RCM II Decision Worksheet sesuai dengan fungsi dan sistem kerja pada mesin-mesin area produksi kemasan botol medium dan FMEA digunakan untuk mengidentifikasi penyebab kegagalan dan efek yang ditimbulkan dari kegagalan tersebut.

Penelitian yang dilakukan oleh (Bhakti dan Kromodiharjo, 2015) yang berjudul Perancangan sistem Pemeliharaan dengan Menggunakan Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM II) pada Pulvizer (Studi Kasus : PLTU Paiton Unit 3). Penelitian ini menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM II) menurunkan tingkat breakdown mesin dan downtime produksi. Data historis kerusakan pulverizer dianalisa. Kemudian kegagalan dari suatu komponen yang dapat menyebabkan kegagalan fungsi dari sistem diidentifikasi menggunakan metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA). Selanjutnya menggunakan RCM Decision Worksheet untuk mengetahui bagiadari sistem yang gagal dan perlu dilakukan tindakan perbaikan dan pencegahan berdasarkan kegagalan yang ada agar kejadian yang sama tidak terulang dan menentukan kegiatan perancang perawatan yang tepat pada setiap komponen.

Penelitian selanjutnya, dilakukan oleh (Sari dan Ridho, 2016) yang berjudul Evaluasi Manajemen Perawatan dengan Menggunakan Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) II Pada Mesin Blowing 1 di plant 1 Studi Kasus : PT Pisma Putra Textile. Penelitian difokuskan pada mesin *Blowing I*, karena memiliki downtime tertinggi. Berdasarkan frekuensi kerusakan mesin komponen yang paling sering rusak yaitu *flat belt* dan *apron berpaku*. Perawatan yang diperlukan dilakukan pada permukaan *belt* bergelombang, *belt* putus, kayu *apron* patah, dan paku-paku *apron* patah dengan *scheduled discard task* dengan interval perawatan dan Total Cost optimal berurutan yaitu 580 jam dengan TC Rp. 14661546,36, 465 jam dengan TC Rp 18350303,77, 490 jam dengan TC Rp 18966057,60, dan 450 jam dengan TC Rp 13419317,27. Sedangkan perawatan untuk kerusakan karet kendor adalah *scheduled restoration task* dengan interval perawatan 340 jam dan TC Rp 16338431,41. Total penurunan biaya keseluruhan sebesar Rp 21.587.975,45 atau 20,89% dari biaya perawatan perusahaan.

Penelitian yang dilakukan oleh (Athari et al, 2016) yang Usulan *Preventive Maintenance* Pada Mesin Komori LS440 dengan Menggunakan Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) II dan Risk Based Maintenance (RBM) Di PT ABC. Penelitian ini Kegagalan fungsi pada mesin Komori masihcukup tinggi. Oleh karena itu, diperlukan kegiatan pecegahaan untuk meningkatkan reliabilitas mesin. Metode yang dilakukanadalah *Reliability Centered Maintenance*, yaitu dengan menganalisis *failure* yang terjadi dengan menggunakan analisis *Failure Mode and Effect Analysis* dan *Decision Worksheet*. Hasil dari analisis ini merupakan *preventive task* masing-masing komponen. Sedangkan untuk menganalisis risiko yang diakibatkan jika mesin mengalami gagal fungsi, yaitu dengan metode *Risk Based Maintenance*. Berdasarkan hasilpengolahan data pada subsistem kritis diperoleh kesimpulanbahwa enam komponen dilakukan dengan *task scheduled oncondition*, tiga komponen dengan *task scheduled restoration*, dan enam komponen dengan *task scheduled discard*.

Penelitian yang dilakukan oleh (Mauidzoh et al, 2017) yang berjudul Perawatan Mesin Kompresor udara dengan Menggunakan Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) (Studi Kasus PT Polidayaguna Perkasa Ungaran).

Penelitian ini menggunakan metode Reliability Centered Maintenance (RCM). Tahap pertama digunakan Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) untuk mengetahui dan menganalisa mode kegagalan, Logic Tree Analysis (LTA) untuk menentukan konsekuensi kegagalan yang ditimbulkan dari mode kegagalan dan tahapan Task Selection untuk menentukan kebijakan perawatan yang efektif dan optimal untuk setiap komponen sistem. Dari hasil analisis FMEA diperoleh 22 mode kegagalan pada mesin kompresor dengan nilai RPN tertinggi kompresor Cyclon 337 terdapat pada komponen air separator dan oil cooler dengan nilai 216, nilai RPN tertinggi pada kompresor Airman pada komponen oil separator dengan nilai 144 dan nilai RPN tertinggi pada kompresor Kaitec pada komponen programmable logic control (PLC) dengan nilai 40. Rekomendasi dari hasil analisa RCM adalah 2 komponen dilakukan kebijakan perawatan time directed (TD) pada kompresor Cyclon 337, 12 komponen pada kompresor Cyclon 337, 14 komponen pada kompresor Airman dan 14 komponen pada kompresor Kaitec dilakukan kebijakan condition directed (CD). Kemudian 2 komponen dilakukan kebijakan perawatan failure finding (FF) pada Cyclon 337, dan terdapat 6 komponen pada masing-masing mesin kompresor udara dilakukan kebijakan run to failure (RTF).

2.2 Definisi Perawatan

Menurut (Assauri S, 1993) 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, penggabungan setiap tindakan atau kegiatan yang dilaksanakan untuk mempertahankan, atau memulihkan suatu alat, mesin, bangunan pada kondisi yang dapat diterima.

2.2.1 Tujuan Perawatan

Dalam istilah perawatan (*maintenance*) disebutkan bahwa tercakup dua pekerjaan yaitu perawatan dan perbaikan. Perawatan dimaksudkan sebagai aktifitas untuk mencegah kerusakan, sedangkan istilah perbaikan dimaksudkan sebagai tindakan untuk memperbaiki kerusakan. Kegiatan *maintenance* memiliki tujuan utama yaitu (Daryus A, 2008):

- 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 Bentuk – Bentuk Perawatan

Kegiatan *maintenance* memiliki banyak bentuknya tergantung jenis kegiatan apa yang sering dilakukan. Menurut (Sudrajat, 2011) tentang bentuk – bentuk perawatan yaitu:

1. *Preventive maintenance* adalah kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan untuk mencegah timbulnya kerusakan – kerusakan yang tidak terduga dan menemukan kondisi atau keadaan yang dapat menyebabkan fasilitas produksi mengalami kerusakan pada waktu digunakan saat proses produksi.
2. *Corrective maintenance* atau *breakdown maintenance* adalah kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan setelah terjadi kerusakan atau kelainan pada fasilitas sehingga tidak dapat berfungsi dengan baik.

2.2.3 Lingkup Kegiatan Perawatan

Menurut (Sudrajat, 2011) ruang lingkup kegiatan industri dapat digolongkan ke dalam beberapa kategori diantaranya berdasarkan :

- a. Kebijakan perawatan yang diterapkan, kegiatan yang dilakukan di antaranya meliputi perawatan terjadwal, perawatan *breakdown* dan perawatan prediktif
- b. Urutan kegiatan, berdasarkan langkah-langkah perawatan maka ruang lingkungnya meliputi Pemeriksaan/evaluasi awal, Pembongkaran/*disassembling*, Pencucian, Inspeksi, Perakitan/*assembling*, Inspeksi akhir
- c. Penggolongan kegiatan, berdasarkan jenis kegiatan didapat Instalasi, Operasi mesin, Inpeksi, *Trouble shooting*, Monitoring, Pelumasan, Perawatan dan perbaikan, Semi *overhaule*, *Overhaule*, Pengujian/kalibrasi

2.2.4 Tugas Perawatan

Menurut (Kurniawan, 2013) kegiatan pemeliharaan/perawatan dapat digolongkan ke dalam salah satu dari lima tugas pokok, yaitu :

1. Kegiatan inspeksi adalah kegiatan pengecekan atau pemeriksaan secara berkala (*routine schedule check*) bangunan dan peralatan pabrik sesuai dengan rencana serta melakukan pelaporan terhadap kerusakan dari hasil pengecekan.
2. Kegiatan teknik (*Engineering*) adalah kegiatan percobaan untuk peralatan baru, kegiatan – kegiatan pengembangan peralatan atau komponen yang perlu diganti dan melakukan penelitian terhadap kemungkinan pengembangan.
3. Kegiatan produksi (*Production*) adalah kegiatan pemeliharaan yang sebenarnya, yaitu melakukan perbaikan terhadap mesin – mesin /peralatan produksi.
4. Pekerjaan administrasi (*Clerical work*) adalah kegiatan yang berhubungan dengan pencatatan – pencatatan mengenai biaya yang muncul dari kegiatan pemeliharaan dan pekerjaan pemeliharaan, komponen atau *spare parts* yang dibutuhkan, *progress report* tentang apa yang telah dikerjakan, waktu inspeksi dan perbaikan serta lama perbaikan, komponen yang ada di bagian pemeliharaan.
5. Pemeliharaan bangunan (*House keeping*) adalah kegiatan menjaga bangunan kantor maupun pabrik, melakukan pembersihan lingkungan perusahaan dan melakukan kegiatan pemeliharaan peralatan yang tidak termasuk dalam kegiatan teknik dan produksi.

2.3 Diagram Pareto

Seperti halnya teknik *multi-voting* 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 untuk mengidentifikasi beberapa isu vital dengan menerapkan aturan perbandingan 80:20, artinya 80% peningkatan dapat dicapai dengan memecahkan 20% masalah terpenting yang dihadapi (Yamit, 2010).

Menurut (Yamit, 2010) 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 Centred Maintenance (RCM)

Menurut (Kurniawan, 2013) *Reliability Centred Maintenance* (RCM) merupakan suatu proses yang digunakan untuk menentukan keperluan perawatan terhadap aset-aset fisik yang dimiliki perusahaan dalam konteks operasi yang dilakukan. Tujuan utama dari RCM adalah untuk mempertahankan fungsi sistem. RCM mempertahankan fungsi tersebut dengan cara mengidentifikasi mode kegagalan (*failure mode*) dan memprioritaskan tingkat kepentingan dari mode kegagalan.

Menurut (Moubray J, 2015) Terdapat beberapa manfaat bagi perusahaan, apabila melaksanakan RCM, antara lain :

- a. Meningkatkan kinerja operasi, sehingga mampu menghasilkan produk yang berkualitas.
- b. Meningkatkan keselamatan dan perlindungan terhadap lingkungan kerja.
- c. Efisiensi terhadap layanan pemeliharaan.
- d. Memperpanjang umur pemakaian peralatan dan mesin, khususnya mesin dengan biaya yang mahal.
- e. Memperbaiki sistem database pada departemen perawatan, sehingga dapat lebih teratur.
- f. Meningkatkan kerjasama antar karyawan dan memotivasi individu untuk dapat bekerja dengan lebih baik.

Prinsip – prinsip dalam *Reliability Centered Maintenance* adalah

- a. RCM memelihara fungsional sistem, bukan sekedar memelihara suatu sistem/alat agar beroperasi tetapi memelihara agar fungsi sistem/alat tersebut sesuai dengan harapan.

- b. RCM lebih fokus kepada fungsi sistem daripada suatu komponen tunggal, yaitu apakah sistem masih dapat menjalankan fungsi utama jika suatu komponen mengalami kegagalan.
- c. RCM berbasiskan pada kehandalan yaitu kemampuan suatu sistem/equipment untuk terus beroperasi sesuai dengan fungsi yang diinginkan.
- d. RCM bertujuan menjaga agar kehandalan fungsi sistem tetap sesuai dengan kemampuan yang didesain untuk sistem tersebut.
- e. RCM mengutamakan keselamatan (*safety*) baru kemudian untuk masalah ekonomi.
- f. RCM mendefinisikan kegagalan (*failure*) sebagai kondisi yang tidak memuaskan (*unsatisfactory*) atau tidak memenuhi harapan, sebagai ukurannya adalah berjalannya fungsi sesuai *performance standart* yang ditetapkan.
- g. RCM harus memberikan hasil-hasil yang nyata/jelas. Tugas yang dikerjakan harus dapat menurunkan jumlah kegagalan (*failure*) atau paling tidak menurunkan tingkat kerusakan akibat kegagalan.

2.4.1 Metodologi RCM

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

a. Pemeliharaan Sistem dan Pengumpulan Informasi

Pemeliharaan sistem dapat didasarkan pada beberapa aspek kriteria yaitu:

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

b. Mendefinisikan Batasan Sistem

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

c. 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.

d. Fungsi Sistem dan Kegagalan Fungsi

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

e. *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)

Failure Mode dapat diartikan sebagai sebuah teknik yang digunakan untuk mengidentifikasi dan menghilangkan kegagalan potensial, error dan masalah yang diketahui dari sistem, desain, proses atau jasa sebelum hal tersebut sampai ke konsumen. Menurut (Moubray J, 2014) *Failure Mode and Effect Analysis* (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.

Secara umum, FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) didefinisikan sebagai teknik yang mengidentifikasi 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 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 mengarahkan 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.

Menurut (Ebeling, 2015) Tahapan FMEA yaitu:

- a. Menentukan dan mendefinisikan sistem yang akan dianalisis.
- b. Mengidentifikasi *failure mode* (mode kegagalan) dari sistem yang diamati berdasarkan komponen atau fungsi.
- c. Mengidentifikasi penyebab (*potential cause*) dari *failure mode* yang terjadi pada proses yang berlangsung.
- d. Mengidentifikasi akibat (*potential effect*) yang ditimbulkan *potential failure mode*.
- e. Menetapkan nilai-nilai *severity*, *occurrence*, dan *detection*. Untuk ketiga penilaian tersebut dilakukan berdasarkan kriteria penilaian dari Huber dalam jurnalnya yaitu FMEA-FMECA.
- f. Membuat lembar kerja FMEA. Lembar kerja ini dibuat untuk mempermudah pelaksanaan analisis kegagalan dengan FMEA. Lembar kerja FMEA dapat disesuaikan dengan kondisi serta kebutuhan dalam penelitian yang dilakukan. Lembar kerja ini tidak terpacu pada suatu tabel tertentu melainkan dapat dimodifikasi sesuai dengan keperluan penelitian.
- g. Membuat matriks resiko untuk menunjukkan seberapa parah atau kritis kegagalan yang terjadi. Matriks ini dibuat berdasarkan nilai *severity* dan *occurrences* yang telah ditetapkan pada langkah sebelumnya. Matriks ini menggambarkan fungsi dari nilai *occurrence* terhadap nilai *severity*.

h. Langkah terakhir dari pelaksanaan FMEA adalah menentukan tindakan korektif yang diperlukan untuk mengatasi mode kegagalan yang terjadi.

Kerusakan suatu alat atau komponen pada mesin akan memiliki dampak yang cukup besar bagi perusahaan dalam proses produksinya. Karena bermacam-macam kerusakan akan memiliki efek dan akibat terhadap kinerja mesin. Oleh karena itu, penyebab kerusakan pada mesin dapat dicari dan bukan tidak mungkin bisa diantisipasi dan dicegah.

Hal utama dalam FMEA adalah *Risk Priority Number* (RPN). RPN merupakan produk matematis dari keseriusan *effect (severity)*, kemungkinan terjadinya *cause* akan menimbulkan kegagalan yang berhubungan dengan *effect (occurrence)*, dan kemampuan untuk mendeteksi kegagalan sebelum terjadi (*detection*).

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 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 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 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 menunjukkan tingkatan prioritas peralatan yang dianggap beresiko tinggi, sebagai petunjuk kearah tindakan perbaikan. RPN dapat ditunjukkan dengan persamaan sebagai berikut (Gasperz, 2002):

$$\text{RPN} = \text{Severity} \times \text{Occurance} \times \text{Detection} \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

Berikut merupakan tabel penilaian untuk S (*Severity*), O (*Occurance*) dan D (*Detection*):

Tabel 2.1 Rating *Severity*

Rating <i>Severity</i> 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 perawatan
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	30-60 menit <i>downtime</i>

Rating Severity Pada FMEA Perawatan			
Ranking	Akibat	Kriteria Verbal	Akibat Pada Produksi
		berkurang	
6	Akibat signifikan	Mesin tetap dapat beroperasi dan aman, tetapi menimbulkan kegagalan produk. Operator merasa sangat tidak puas dengan kinerja mesin.	1-2 jam <i>downtime</i>
7	Akibat major	Mesin tetap dalam beroperasi, tetapi tidak dapat dijalankan secara penuh. Operator merasa sangat tidak puas.	2-4 jam <i>downtime</i>
8	Akibat ekstrim	Mesin tetap dalam beroperasi, telah kehilangan fungsi utama mesin	4-8 jam <i>downtime</i>
9	Akibat serius	Mesin gagal beroperasi, serta tidak sesuai dengan peraturan keselamatan kerja	> 8 jam <i>downtime</i>
10	Akibat berbahaya	Mesin tidak layak di operasikan karena dapat menimbulkan kecelakaan secara tiba-tiba dan bertentangan dengan peraturan keselamatan kerja.	> 8 jam <i>downtime</i>

Sumber : (Gasperz, 2002)

Tabel 2.2 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 rusak	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 : (Gasperz, 2002)

Tabel 2.3 Rating *Detection*

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

Sumber : (Gasperz, 2002)

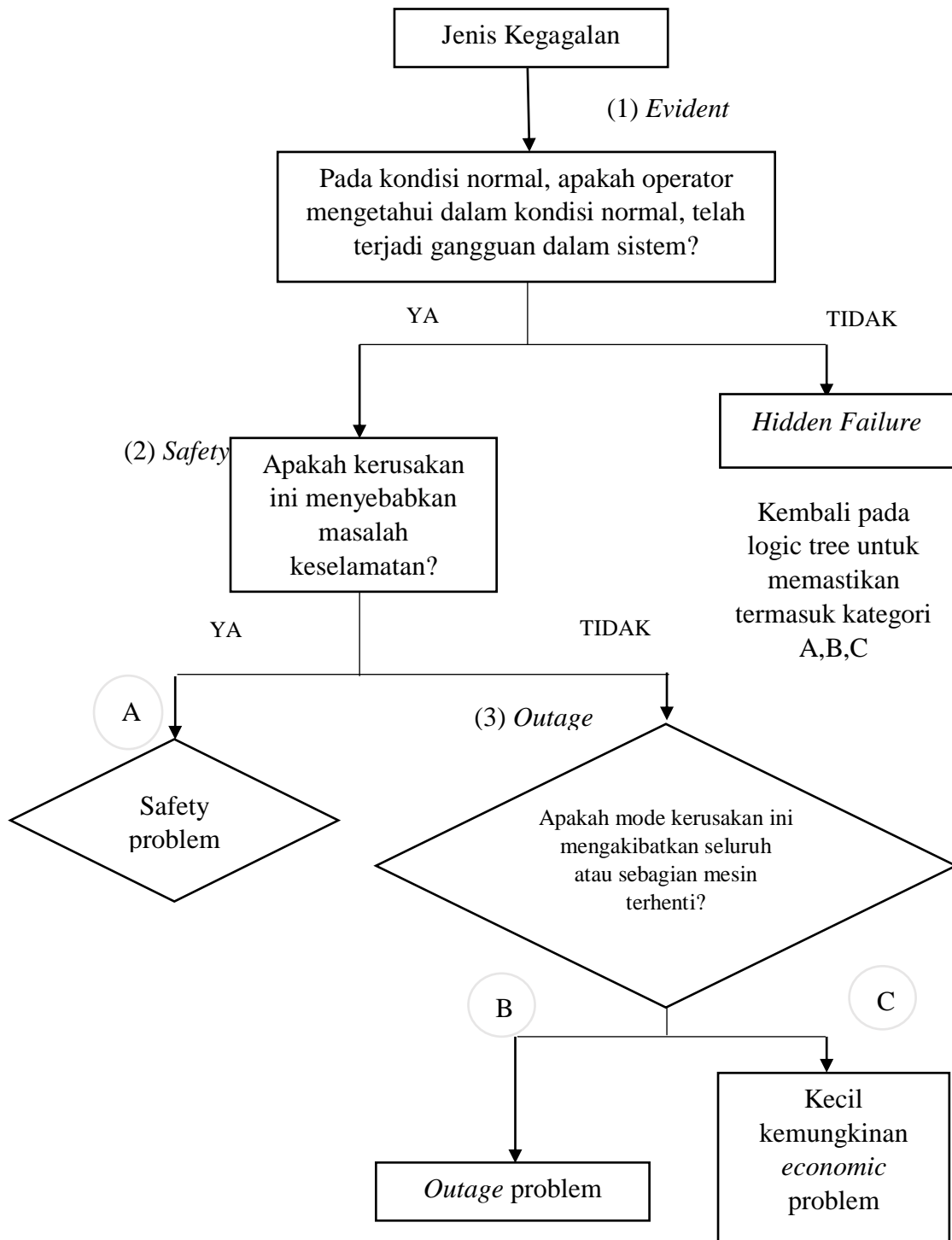
f. *Logic Tree Analysis* (LTA)

Penyusunan *Logic Tree Analysis* (LTA) bertujuan untuk membedakan prioritas setiap jenis kerusakan dan melakukan tinjauan fungsi dan kegagalan fungsi. Prioritas pada setiap jenis kerusakan diketahui dengan menjawab pertanyaan-pertanyaan yang ada LTA. Menurut (Smith & Gleen, 2003) analisis kekritisian

menentukan setiap jenis kerusakan ke dalam empat kategori. Keempat analisis kekeritisan itu sebagai berikut:

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 pertanyaan-pertanyaan yang diajukan. Pengkategorian terbagi menjadi 4 kategori yaitu:
 - a) Kategori A (*Safety Problem*)
 - b) Kategori B (*Outage Problem*)
 - c) Kategori C (*Economic Problem*)
 - d) Kategori D (*Hidden Problem*)

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



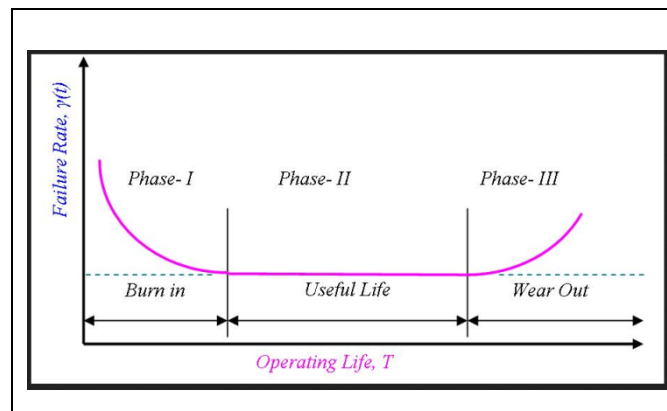
Gambar 2.1 Struktur *Logic Tree Analysis*
 Sumber : (Smith & Gleen, 2003)

g. RCM II *Decision Worksheet*

Pada tahap ini merupakan penggabungan dan analisa dengan tabel FMEA dan mengetahui konsekuensi kegagalan pada tahap LTA serta dengan menggunakan RCM *decision diagram*. Penggunaan RCM *decision diagram* untuk menentukan tugas atau task yang diusulkan pada kejadian kegagalan yang ada. Ada 4 bagian dalam task di antaranya *scheduled discard task*, *scheduled restoration task*, *scheduled on-condition task* dan *combination of task*. Berikut ini adalah *decision diagram* dalam menentukan tugas atau task yang diusulkan dan tabel *worksheet diagram* :

2.5 Keandalan

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



Gambar 2.2 *Bathtub Curve*
Sumber:(Moubray J. ,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 kerusakan yang akan meningkat tajam. Hal ini dikarenakan mulai memburuknya kondisi alat atau komponen yang biasanya pemakaiannya melebihi umur komponen.

2.6 Fungsi Ditribusi Kegagalan

Menurut (Ebellling, 1997) Dalam penerapan Preventive maintenance ini, data waktu kerusakan yang akan dihitung merupakan hasil pengukuran maka data ini termasuk dalam data kontinu. terdapat 4 macam distribusi yang dapat digunakan untuk mengetahui pola data yang terbentuk diantaranya distribusi *weibull*, *normal*, *lognormal* dan *eksponensial*.

2.6.1 Distribusi Weibull

Distribusi *Weibull* merupakan distribusi yang paling banyak digunakan untuk waktu kerusakan karena distribusi ini baik digunakan untuk laju kerusakan yang meningkat maupun laju kerusakan yang menurun. Terdapat dua parameter yang digunakan dalam distribusi ini yaitu θ yang disebut dengan parameter skala (*scale parameter*) dan β yang disebut dengan parameter bentuk (*shape parameter*). Fungsi *Reliability* yang terdapat dalam distribusi *Weibull* yaitu:

$$Reliability\ function : R(t) = e^{-(\frac{t}{\theta})^\beta} \dots\dots\dots(2.2)$$

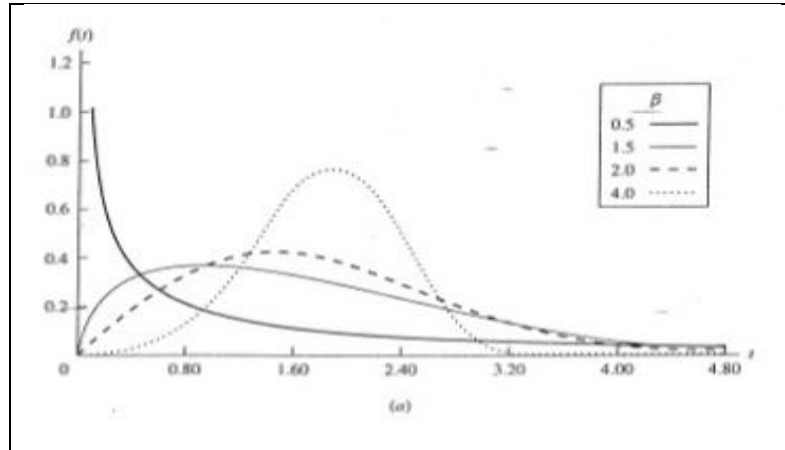
Dimana $\theta > 0$, $\beta > 0$, dan $t \geq 0$

Dalam distribusi *Weibull* yang menentukan tingkat kerusakan dari pola data yang terbentuk adalah parameter β . Nilai-nilai β menunjukkan laju kerusakan terdapat dalam tabel berikut:

Tabel 2.4 Nilai – Nilai Parameter β

Nilai	Laju Kerusakan
$0 < \beta < 1$	Pengaruh laju kerusakan (DFR)
$\beta = 1$	Distribusi Eksponensial
$1 < \beta < 2$	Peningkatan laju kerusakan (IFR), <i>Konkaf</i>
$\beta = 2$	Distribusi <i>Rayleigh</i>
$\beta > 2$	Peningkatan laju kerusakan (IFR), <i>Konskaf</i>
$3 \leq \beta \leq 4$	Peningkatan laju kerusakan (IFR), mendekati kurva normal

Jika parameter β mempengaruhi laju kerusakan maka parameter θ mempengaruhi nilai tengah dari pola data.



Gambar 2.3 Distribusi Weibull
 Sumber: (Ebellling, 1997)

Fungsi – fungsi dalam distribusi weibull adalah sebagai berikut:

- a. Fungsi Kepadatan Probabilitas (*Probability Density Function*)

$$f(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta\right] \dots\dots\dots(2.3)$$

untuk $t \geq 0$

- b. Fungsi Kumulatif Kerusakan (*Cumulative Density Function*)

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta\right] \dots\dots\dots(2.4)$$

- c. Fungsi Keandalan (*Reliability Function*)

$$R(t) = 1 - F(t) \dots\dots\dots(2.5)$$

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta\right] \dots\dots\dots(2.6)$$

- d. Fungsi Laju Kerusakan

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} \dots\dots\dots(2.7)$$

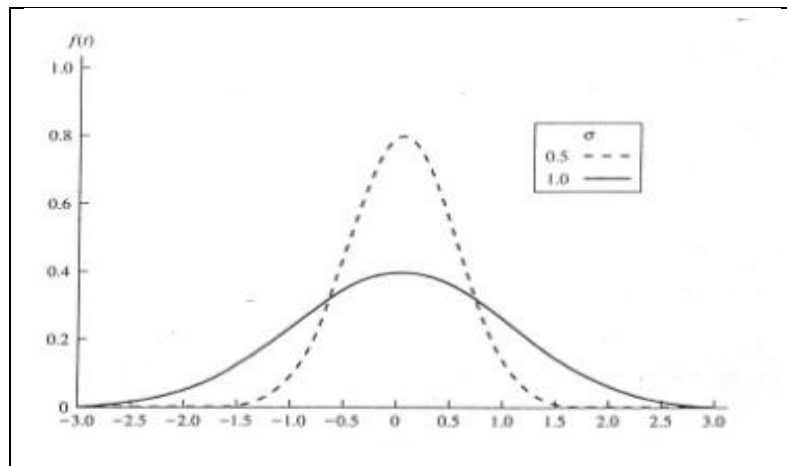
2.6.2 Distribusi Normal

Distribusi Normal cocok untuk digunakan dalam memodelkan fenomena keausan (kelelahan) atau kondisi wear out dari suatu item. Sebenarnya distribusi ini bukanlah distribusi reliabilitas murni karena variabel acaknya memiliki range antara minus tak hingga sampai plus tak hingga. Akan tetapi, karena hampir untuk semua nilai μ dan σ , peluang untuk variabel acak yang memiliki nilai negatif

dapat diabaikan, maka distribusi normal dapat digunakan sebagai pendekatan yang baik untuk proses kegagalan. Parameter yang digunakan adalah μ (nilai tengah) dan σ (standar deviasi). Karena hubungannya dengan distribusi lognormal, distribusi ini dapat juga digunakan untuk menganalisa probabilitas lognormal. Fungsi reliability yang terdapat dalam distribusi normal yaitu:

$$\text{Reliability function : } R(t) = \phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana $\mu > 0$, $\sigma > 0$, dan $t > 0$



Gambar 2.4 Distribusi Normal
Sumber: (Ebellling, 1997)

Fungsi – fungsi dalam distribusi normal adalah sebagai berikut:

- a. Fungsi Kepadatan Probabilitas (*Probability Density Function*)

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{(t-\mu)^2}{\sigma^2}\right) \dots\dots\dots(2.9)$$

untuk $-\infty < t < \infty$ dimana $t = \text{waktu}$

- b. Fungsi Kumulatif Kerusakan (*Cumulative Density Function*)

$$F(t) = \phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \dots\dots\dots(2.10)$$

- c. Fungsi Keandalan (*Reliability Function*)

$$R(t) = 1 - F(t) \dots\dots\dots(2.11)$$

$$R(t) = 1 - \phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \dots\dots\dots(2.12)$$

- d. Fungsi Laju Kerusakan

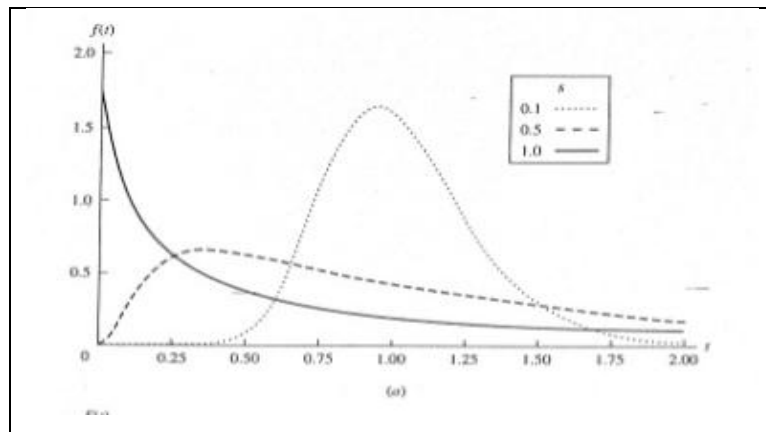
$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1-\phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)} \dots\dots\dots(2.13)$$

2.6.3 Distribusi Lognormal

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

$$Reliability\ function : R(t) = 1 - \phi \left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}} \right) \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana $s > 0$, $t_{med} > 0$ dan $t > 0$



Gambar 2.5 Distribusi Lognormal

Sumber: (Ebellling, 1997)

Fungsi – fungsi dalam distribusi lognormal adalah sebagai berikut:

- a. Fungsi Kepadatan Probabilitas (*Probability Density Function*)

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi t\sigma}} \exp \left[-\frac{(\ln(t)-\mu)^2}{2\sigma^2} \right]; -\infty << \infty \dots\dots\dots(2.15)$$

Atau,

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi t\sigma}} \exp \left[-\frac{1}{2s^2} \ln \left(\frac{t}{t_{med}} \right)^2 \right] \dots\dots\dots(2.16)$$

- b. Fungsi Kumulatif Kerusakan (*Cumulative Density Function*)

$$F(t) = \phi \left(\frac{\ln(t)-\mu}{\sigma} \right) \dots\dots\dots(2.17)$$

Atau,

$$F(t) = \phi \left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}} \right) \dots\dots\dots(2.18)$$

c. Fungsi Laju Kerusakan

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1 - \Phi\left(\frac{\ln(t) - \mu}{\sigma}\right)} \dots\dots\dots(2.19)$$

Atau,

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1 - \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}}\right)} \dots\dots\dots(2.20)$$

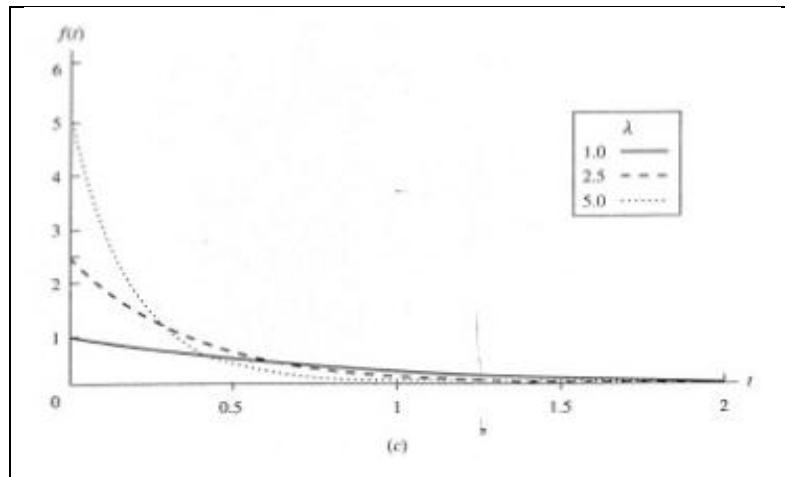
2.6.4 Distribusi Eksponensial

Distribusi Eksponensial digunakan untuk menghitung keandalan dari distribusi kerusakan yang memiliki laju kerusakan konstan. Distribusi ini mempunyai laju kerusakan yang tetap terhadap waktu, dengan kata lain probabilitas terjadinya kerusakan tidak tergantung pada umur alat. Distribusi ini merupakan distribusi yang paling mudah untuk dianalisa. Parameter yang digunakan dalam distribusi Eksponensial adalah λ , yang menunjukkan rata-rata kedatangan kerusakan yang terjadi.

Fungsi reliability yang terdapat dalam distribusi eksponensial yaitu:

Reliability function : $R(t) = e^{-\lambda t}$ \dots\dots\dots(2.21)

Dimana $t > 0, \lambda > 0$



Gambar 2.6 Distribusi Eksponensial

Sumber: (Ebellling, 1997)

Fungsi-fungsi dalam distibusi eksponensial adalah sebagai berikut:

a. Fungsi Kepadatan Probabilitas (*Probability Density Function*)

$$f(t) = \lambda \exp(-\lambda t) \dots\dots\dots(2.22)$$

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

- b. Fungsi Kumulatif Kerusakan (*Cumulative Density Function*)

$$F(t) = 1 - \exp(-\lambda t) \quad \dots\dots\dots(2.23)$$

- c. Fungsi Keandalan (*Reliability Function*)

$$R(t) = \exp(-\lambda t) \quad \dots\dots\dots(2.24)$$

- d. Fungsi Laju Kerusakan

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \lambda \quad \dots\dots\dots(2.25)$$

2.7 Uji Kecocokan Distribusi

Uji kecocokan distribusi dimaksudkan untuk mengetahui atau memastikan bahwa distribusi data yang telah dipilih benar – benar mewakili data. Pengujian kecocokan distribusi yang dilakukan adalah uji spesifikasi *Goodness of Fit*. *Goodness of Fit* dipilih karena uji tersebut memiliki probabilitas yang lebih besar dalam menolak suatu distribusi yang tidak sesuai (Ebelling, 1997).

Uji *Goodness of Fitter* bagi menjadidua, yaitu *General Test* (uji umum) dan *Spesific Test* (uji khusus). *General Test* biasanya menggunakan *Chi Square Test* dengan ukuran sampel yang relatif besar. Sedangkan, *Spesific Test* menggunakan *Least Square Test* dengan ukuran sampel yang relatif kecil. Yang merupakan uji khusus yaitu *Bartlett's Test* untuk distribusi eksponensial, *Mann's Test* untuk distribusi *Weibull*, *Kolmogorov-Smirnov's Test* untuk distribusi normal dan lognormal (Ebelling, 1997).

2.7.1 Uji Barlett Test Untuk Pengujian Distribusi Eksponensial

Barlett Test termasuk pengembangan tes yang spesifik untuk distribusi eksponensial.

Hipotesisnya berupa:

H0 : Data *time to failure* berdistribusi Eksponensial

H1 : Data *time to failure* tidak berdistribusi Eksponensial

Uji statistiknya:

$$B = \frac{2r [\ln(1/r) \sum_{i=1}^r t_i - (1/r) \sum_{i=1}^r \ln t_i]}{1 + \frac{(r+1)}{6r}} \quad \dots\dots\dots(2.26)$$

Dimana :

t_i adalah waktu kerusakan ke-1

r adalah jumlah kerusakan

B adalah nilai uji statistik untuk uji *Barlett Test*

Data waktu antar kerusakan mengikuti distribusi eksponensial jika

$$X^2 (1 - \alpha/2, x - 1) < \mathbf{B} < X^2 (\frac{\alpha}{2}, x - 1)$$

2.7.2 Uji Mann's Test Untuk Pengujian Distribusi Weibull

Menurut (Ebellling, 1997), Hipotesis untuk melakukan uji ini yaitu :

H_0 : Data *time to failure* berdistribusi *Weibull*

H_1 : Data *time to failure* tidak berdistribusi *Weibull*

Uji statistiknya :

$$M = \frac{k_1 \sum[(\ln t_{i+1} - \ln t_i)/M_i]}{k_2 \sum[(\ln t_{i+1} - \ln t_i)/M_i]} \dots\dots\dots(2.27)$$

Dengan :

$$k_1 = \left[\frac{r}{2} \right] \dots\dots\dots(2.28)$$

$$k_2 = \left[\frac{r-1}{2} \right] \dots\dots\dots(2.29)$$

$$M_i = Z_{i+1} - Z_i \dots\dots\dots(2.30)$$

$$Z_i = \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{i-0,5}{n+0,25} \right) \right] \dots\dots\dots(2.31)$$

Dimana:

t_i = data antar waktu kerusakan ke-i

n = jumlah data antar kerusakan suatu komponen

M_i = nilai pendekatan Mann untuk data ke-i

M = nilai perhitungan distribusi *Weibull*

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

r = banyaknya data

$r/2$ = bilangan bulat

k_1 = $r/2$

k_2 = $(r-1)/2$

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

2.7.3 Uji Kolmogorov-Smirnov Test

Uji Kolmogorov-Smirnov Test dikembangkan oleh H.W Liefors pada tahun 1967.

Menurut (Ebellling, 1997), hipotesis untuk melakukan uji ini yaitu:

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

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

Test statistik: $D_n = \max (D_1, D_2)$

Dimana:

$$D_1 = \max \left(\frac{t_i - \pi}{s} \right) - \left(\frac{i-1}{n} \right) \dots\dots\dots(2.32)$$

$$D_2 = \max \left(\frac{i}{n} \right) - \left(\frac{t_i - \pi}{s} \right) \dots\dots\dots(2.33)$$

Cumulative probability $F(t) = \left(\frac{t_i - \pi}{\sigma} \right)$

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n \ln t_i}{n} \dots\dots\dots(2.34)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\ln t_i - \mu)^2}{n-1}} \dots\dots\dots(2.35)$$

Keterangan :

t_i = *time to failure* ke- i

μ = 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 tabel *critical values for Kolmogrov-Smirnov Test for Normality (Liliefors Test)*. Perbedaan penggunaan pengujian ini untuk distribusi normal dan log normal adalah pada distribusi lognormal nilai $t_i = \ln (t_i)$.

2.8 Identifikasi Parameter Distribusi

Cara mengidentifikasi parameter distribusi kerusakan dapat dilakukan dalam dua tahap, yaitu identifikasi distribusi awal dan estimasi parameter.

2.8.1 Identifikasi Distribusi Awal

Identifikasi dilakukan dengan menggunakan metode least square. Dengan metode least square (nilai korelasi) antara t_i (atau $\ln t_i$) sebagai x dengan y yang

merupakan fungsi dari distribusi teoritis terhadap x. Kemudian distribusi yang dipilih adalah distribusi yang memiliki index of fit (r) terbesar.

Perhitungan umum pada metode least square yaitu:

- a. Nilai tengah kerusakan (*Median Rank*) (Ebellling, 1997)

$$F(t_i) = \frac{i-0.3}{n+0.4} \dots\dots\dots(2.36)$$

Dimana: i = data waktu ke-t
 n = jumlah data kerusakan

- b. *Index of Fit*

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - (\sum_{i=1}^n X_i) (\sum_{i=1}^n Y_i)}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2] [\sum_{i=1}^n Y_i^2 - (\sum_{i=1}^n Y_i)^2]}} \dots\dots\dots(2.37)$$

(Walpole, 1995)

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

- 1. Distribusi *Weibull*

$$\times i = \ln(t_i) \dots\dots\dots(2.38)$$

$$Y_i = \ln\left[\ln\left(\frac{1}{1-F(t_i)}\right)\right] \dots\dots\dots(2.39)$$

- 2. Distribusi Normal

$$X_i = t_i$$

$$Y_i = Z_i = \Phi^{-1}[F(t_i)] = \frac{t_i - \mu}{\sigma} \dots\dots\dots(2.40)$$

Dimana t_i adalah data ke i
 Nilai $Z_i = \Phi^{-1}[F(t_i)]$ didapat dari tabel *Standard Normal Probabilities*.

- 3. Distribusi Lognormal

$$X_i = \ln(t_i)$$

$$Y_i = Z_i = \Phi^{-1}[F(t_i)] = \Phi^{-1} \left[\left(\frac{1}{s}\right) \ln t_i - \left(\frac{1}{s}\right) \ln t_{med} \right] \dots\dots\dots(2.41)$$

Nilai $Z_i = \Phi^{-1}[F(t_i)]$ didapat dari tabel *Standard Normal Probabilities*.

- 4. Distribusi Eksponensial

$$X_i = t_i$$

$$Y_i = \ln \left[\frac{1}{1-F(t_i)} \right] \dots\dots\dots(2.42)$$

2.8.2 Estimasi Parameter

Estimasi parameter distribusi dilakukan dengan menggunakan metode Maximum Likelihood Estimator (MLE). Menurut (Ebellig, 1997) estimasi parameter masing-masing distribusi sebagai berikut:

a. Distribusi *Weibull*

Parameter untuk distribusi *Weibull* adalah β (*shape parameter*) dan $\alpha = \theta$ (*scale parameter*)

$$\beta = \frac{\sum_{i=1}^n t_i^\beta \ln(t_i)}{\sum_{i=1}^n t_i^\beta} - \frac{1}{\beta} - \frac{1}{n}. \quad \dots\dots\dots(2.43)$$

$$\alpha = \left[\frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n t_i \right) \right]^{\frac{1}{\beta}}. \quad \dots\dots\dots(2.44)$$

Keterangan :

t_i = data waktu kerusakan ke-i

b. Distribusi Normal

Parameter untuk distribusi normal adalah μ dan α

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} \quad \dots\dots\dots(2.45)$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \mu)^2}{n}} \quad \dots\dots\dots(2.46)$$

untuk $n > 30$

Dan

$$\alpha = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \mu)^2}{n-1}} \quad \dots\dots\dots(2.47)$$

untuk $n \leq 30$

Keterangan :

t_i = data waktu kerusakan ke-i

n = banyaknya data kerusakan

μ = nilai tengah

σ = standar deviasi

c. Distribusi Lognormal

Parameter untuk distribusi lognormal adalah s (parameter bentuk) dan t_{med} (parameter lokasi).

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n \ln(t_i)}{n} \quad \dots\dots\dots(2.48)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [\ln(t_i) - \mu]^2}{n}} \quad \dots\dots\dots(2.49)$$

$$t_{med} = e^{\mu} \quad \dots\dots\dots(2.50)$$

Keterangan :

t_i = data waktu kerusakan ke- i

n = banyaknya data kerusakan

μ = nilai tengah

s = standar deviasi

d. Distribusi Eksponensial

Parameter untuk distribusi eksponensial adalah λ

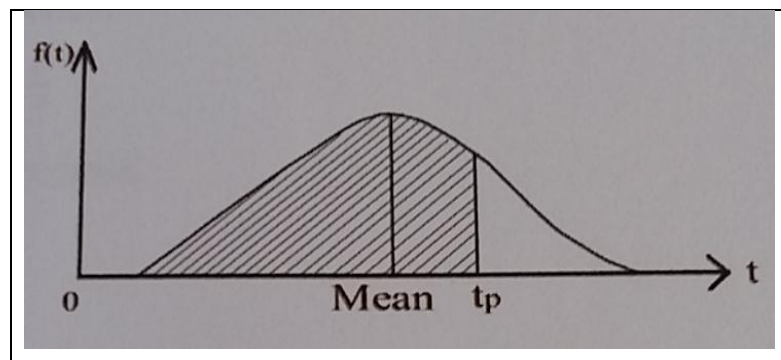
$$\lambda = \frac{n}{T} \quad \dots\dots\dots(2.51)$$

Dimana : n = jumlah kerusakan

T = $\sum_{i=1}^n t_i$ yaitu jumlah waktu kerusakan

2.9 Mean Time to Failure (MTTF)

Mean Time to Failure merupakan rata-rata selang waktu kerusakan dari suatu distribusi kerusakan dimana rata-rata waktu ini merupakan waktu ekspektasi terjadinya kerusakan dari unit-unit identik yang beroperasi pada kondisi normal.



Gambar 2.7 Kurva Mean Time to Failure (MTTF)

Sumber: (Ebell, 1997)

Dari gambar diatas dapat diketahui bahwa MTTF bagi suatu distribusi penuh adalah (Ebellling, 1997):

$$\text{MTTF ; } E(t) = \int_0^{\infty} tf(t)dt \quad \dots\dots\dots(2.52)$$

Sedangkan (Ebellling, 1997):

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \frac{dR(t)}{dt} \quad \dots\dots\dots(2.53)$$

sehingga,

$$\text{MTTF} = \int_0^{\infty} -\frac{dR(t)}{dt} t dt \quad \dots\dots\dots(2.54)$$

$$\text{MTTF} = -tR(t)|_0^{\infty} + \int_0^{\infty} R(t)dt \quad \dots\dots\dots(2.55)$$

$$\text{MTTF} = \int_0^{\infty} R(t)dt \quad \dots\dots\dots(2.56)$$

Dimana,

t = waktu kerusakan

f(t) = fungsi kepadatan probabilitas

R(t) = fungsi keandalan

Berikut ini adalah perhitungan nilai MTTF untuk masing-masing distribusi adalah (Ebellling, 1997):

a. Distribusi *Weibull*

$$\text{MTTF} = \theta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad \dots\dots\dots(2.57)$$

Nilai $\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \rightarrow$ didapat dari $\Gamma(x)$ = tabel dari fungsi Gamma (lihat di lapiran)

b. Distribusi Normal

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

c. Distribusi Lognormal

$$\text{MTTF} = t_{\text{med}} \cdot e^{\frac{x^2}{2}} \quad \dots\dots\dots(2.59)$$

d. Distribusi Eksponensial

$$\text{MTTF} = \frac{1}{\lambda} \quad \dots\dots\dots(2.60)$$

2.10 Mean Time to Repair (MTTR)

Dalam menghitung rata-rata atau penentuan nilai tengah dari fungsi probabilitas untuk waktu perbaikan, sangatlah perlu diperhatikan distribusi data perbaikannya. Penentuan untuk pengujian ini dilakukan dengan cara yang sama dengan yang sudah dijelaskan sebelumnya. Menurut (Ebellling, 1997) MTTR diperoleh dengan rumus:

$$MTTR = \int_0^{\infty} t \cdot h(t)dt = \int_0^{\infty} (1 - H(t))dt \dots\dots\dots(2.61)$$

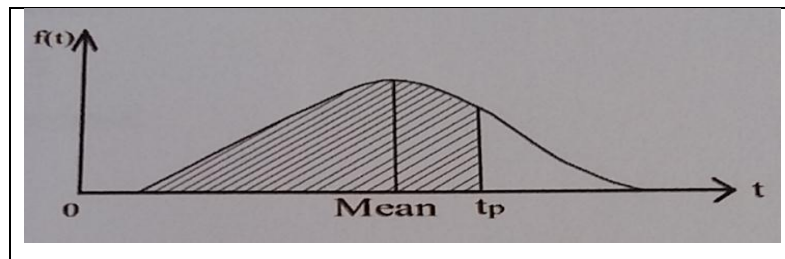
Dimana:

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

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

t adalah waktu perbaikan yang dibutuhkan terhadap komponen yang rusak.

Pada dasarnya bentuk kurva MTTR adalah sama dengan bentuk kurva MTTF yaitu:



Gambar 2.8 Mean Time to Repair (MTTR)

Sumber: (Ebellling, 1997)

Berikut ini adalah perhitungan nilai MTTR untuk masing-masing distribusi (Ebellling, 1997):

- a. Distribusi *Weibull*

$$MTTF = \theta \cdot \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \dots\dots\dots(2.61)$$

Nilai $\Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \rightarrow$ didapat dari $\Gamma(x) =$ tabel dari fungsi Gamma (lihat di lapiran)

- b. Distribusi Normal

$$MTTF = \mu \dots\dots\dots(2.62)$$

c. Distribusi Lognormal

$$MTTF = t_{med} \cdot e^{\frac{x^2}{2}} \dots\dots\dots(2.63)$$

d. Distribusi Eksponensial

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \dots\dots\dots(2.64)$$