

BAB II

KAJIAN LITERATUR

2.1. Kajian Induktif

Penelitian mengenai perawatan mesin telah dilakukan oleh peneliti terdahulu, seperti Denur et al. (2017) yang berjudul Penerapan *Reliability Centered Maintenance* (RCM) pada Mesin *Ripple Mill*. Kerusakan mesin tersebut mencapai 13 kali dalam satu tahun, beberapa faktor yang menyebabkan kerusakan mesin tersebut adalah dari buah kelapa sawit yang berkulut tebal atau jenis sawit Dura, serta pengisian *nut* yang terlalu banyak yang menyebabkan rotor dan plat bergerigi mengalami keausan sehingga *ripple plate* tumpul dan *rotor rod* bengkok yang menyebabkan pemecahan biji sawit tidak efektif. Selain itu terdapat faktor lain yang menyebabkan *Ripple Mill* mengalami kerusakan yaitu pengoprasian mesin yang berlebihan melewati masa pakai yang direkomendasikan oleh pabrik dari mesin *Ripple Mill*. Kesimpulan dari penelitian tersebut adalah analisis *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) mengidentifikasi 17 *Failure Mode* yang berpotensi menyebabkan *failure mode* tersebut diidentifikasi kegagalan *mechanical* sebesar 35,30%, *electrical* 9,40% dan *instrumentation* 35,30%. Hasil *regression* interval waktu kerusakan dari masing-masing mesin *Ripple Mill*, didapatkan pemeliharaan yang bisa diterapkan yaitu untuk *Ripple Mill* 3 tahun 2014 nilai β adalah 0,32057658 dan *ripple mill* 4 tahun 2015 nilai β sebesar $0,149883 < 1$, maka laju kegagalan akan berkurang seiring bertambahnya waktu.

Penelitian lain dilakukan oleh Diastari et al. (2018) mengenai penjadwalan menggunakan *Reliability Centered Maintenance II* (RCM II) pada mesin pendingin Sabroe. Dalam penelitian tersebut peneliti menemukan 18 bentuk kegagalan yang memiliki potensi untuk menyebabkan terjadinya *functional failures* pada mesin pendingin sabroe menggunakan metode FMEA/RCM II, RPN tertinggi dengan nilai 27 ada pada komponen *fan* kondensor dan *belt fan* kondensor yang disebabkan *fan* kondensor rusak dan *belt fan* kondensor terbakar.

Penelitian lain yang dilakukan oleh Dhamayanti et al. (2016) yang berjudul Usulan preventive maintenance pada mesin komori LS440 dengan menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM II) dan *Risk Based Maintenance* (RBM) di PT ABC berfokus pada pada mesin Komori LS440 yang mengalami downtime tertinggi dari ke 3 mesin lainnya, hasil yang didapatkan oleh peneliti adalah *preventive maintenance* yang tepat untuk komponen *Sucker Feeder* yaitu *Scheduled on Condition Task* (dilakukan setiap 3,5 bulan sekali) dan *Scheduled Discard Task* (dilakukan setiap 4 bulan sekali), komponen rantai meja *feeder* yaitu *scheduled on Condition Task* (dilakukan setiap 4,5 bulan sekali), *Scheduled Restoration Task* (dilakukan setiap 5,5 bulan sekali), dan *Scheduled Discard Task* (dilakukan setiap 5,5 bulan sekali), dan komponen *solonoid feeder* yaitu *Scheduled on Condition task* (dilakukan setiap 5,5 bulan sekali), *Scheduled Restoration Task* (dilakukan setiap 2,6 bulan sekali) dan *Scheduled Discard Task* (dilakukan setiap 2,5 bulan sekali).

Penelitian lain oleh Kurniawan dan Mujayin (2015) yang berjudul Usulan perawatan mesin *Stitching* dengan metode *Reliability Centered Maintenance* yang berfokus untuk mengetahui mesin dan komponen kritis dari mesin *stitching*, mendapatkan sistem perawatan yang efektif dan efisien menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) dan menentukan interval waktu penggantian dari komponen mesin kritis dengan *Total Minimum Downtime* (TMD). Dalam penelitian tersebut didapatkan kesimpulan komponen yang memiliki *Risk Priority Number* (RPN) terbesar yaitu *bearing 210*, *V-bel 192*, pegas 150 sehingga membutuhkan perawatan yang lebih. Hasil pemilihan tindakan RCM terdapat 3 komponen yang telah direncanakan dengan perawatan CD (*Conditional Directed*), yaitu kumparan, pegas, mata pisau dan 2 komponen yang direncanakan dengan perawatan TD (*Time Directed*) yaitu V-bel dan bearing. Interval penggantian optimum V-bel dan Bearing secara berurutan adalah 21 hari dan 47 hari, dengan menggunakan RCM sebagai metode perawatan, maka dapat dilihat potensi penurunan rata-rata *downtime* sebesar 47,83%.

Penelitian lain dilakukan oleh Asisco et al. (2012) yang berjudul Usulan Perencanaan Perawatan Mesin dengan Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) di PT. Perkebunan Nusantara VII (Persero) Unit Usaha sungai Niru Kab. Murai Enim berfokus pada penetapan *schedule maintenance* karena pada saat penelitian perusahaan masih menggunakan *corrective maintenance*, sehingga diharapkan dengan adanya *schedule*

maintenance bisa melakukan tindakan yang tepat dan harus dilakukan pada setiap komponen mesin. Hasil yang diperoleh oleh peneliti mendapatkan Interval optimum penggantian komponen kritis berdasarkan *minimum downtime* untuk *bearing* CBC adalah 122 jam dengan *downtime* 0,005944116, *universal join* 1067 jam dengan *downtime* 0,00439881, *pen* 397 jam dengan *downtime* 0,001719194 dan batang kopling 642 jam dengan *downtime* 0,000899.

Metode perawatan *Reliability Centered Maintenance* (RCM) juga dapat diterapkan pada mesin *cone crusher* (Sinha & Mukhopadhyay, 2014). Tujuan dari penelitian ini adalah berfokus pada reliabilitas mesin *cone crusher* sehingga dapat meningkatkan produktivitas sebuah sistem manufaktur. Alat bantu reliabilitas yang digunakan dalam penelitian yaitu FMEA dan *total time to test-Plot* (TTT-plot). Data masa lalu yang dilakukan analisis yaitu data keadaan mesin *cone crusher* selama satu tahun ke belakang. FMEA digunakan untuk menemukan potensi kegagalan pada mesin merencanakan penanganan kegagalan tersebut. TTT-plot digunakan untuk menilai keadaan mesin dengan menganalisis *time between failure*. Hasil FMEA menunjukkan komponen kritis pada mesin *cone crusher* yaitu *dust seal*, *lubrication oil pipe*, *mantle* dan *bowl* yang berarti kerusakan pada komponen tersebut memiliki dampak yang besar sehingga harus diberi prioritas lebih dalam pengambilan keputusan strategi perawatan. Sementara itu TTT-plot menunjukkan bahwa perawatan yang telah dilakukan terhadap komponen mesin *cone crusher* sudah optimal. Jika perawatan suatu alat sudah optimal maka perawatan pencegahan pada mesin tersebut dapat menurunkan biaya perawatan dan dapat memprediksi kapan kegagalan akan terjadi.

Berbeda dengan penelitian sebelumnya, Sanjaya dan Mutmainah (2016) melakukan penelitian mengenai manajemen perawatan di perusahaan roda baja mobil penumpang dengan objek penelitian mesin *press* 80 ton di lini P3C03 3&4 yang memiliki *downtime* sebesar 19740 menit dalam periode Maret hingga Mei 2016. Metode yang digunakan untuk penelitian ini adalah *Total Productive Maintenance* (TPM) dan *Age Replacement*. Dari penelitian ini didapatkan hasil interval waktu penggantian komponen serta tindakan modifikasi peralatan.

Rasindyo et al (2015) didalam penelitiannya menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) untuk menyelesaikan permasalahan mesin *cincinnati* yang dalam kurun waktu 3 tahun terdapat 550 kasus kerusakan sehingga menyebabkan

perusahaan mengeluarkan *maintenance cost* yang sangat tinggi. Pada total *maintenance cost* yang ada, 58% diakibatkan oleh dua komponen yaitu pada *axis* dan *spindle*. Setelah dilakukan perbandingan kebijakan perawatan yang berlaku di perusahaan PT. Dirgantara Indonesia dengan metode RCM, terdapat perlakuan atau *task* yang sangat jelas. Perusahaan ini menetapkan perawatan mesin berdasarkan periodik yaitu pada jam ke 2000 dan ke-4000 yang dinilai belum efektif dalam pencegahan kerusakan. Sehingga, penulis mengusulkan pengecekan secara berkala yaitu maksimal 3 bulan sekali. Penentuan pengecekan belum berdasarkan perhitungan tetapi masih subjektif

Pemilihan strategi perawatan mesin Analytical Hierarchy Process (AHP) dan perancangan strategi perawatan dengan metode Reliability Centered Maintenance (RCM) dapat diaplikasikan pada manufaktur berbasis proses (Vishnu & V., 2016). Penelitian ini bertujuan untuk mengusulkan model RCM yang sesuai dengan segala kondisi manufaktur berbasis proses dimana terdapat hubungan kompleks dan komponen yang kritis. Model RCM yang diusulkan dapat menjadi panduan perusahaan dalam mengembangkan sistem database untuk mengawasi aktivitas perawatan RCM, tingkat keadaan dan kebutuhan setiap mesin dan komponen dalam pabrik dengan biaya yang efektif untuk meningkatkan *availability* dan *profitability*. Langkah pertama dalam usulan model RCM yaitu pemilihan sistem dan pengumpulan data, pembuatan functional block diagram, analisis kegagalan fungsional, FMEA, analisis tingkat kritis, penyusunan prioritas dengan AHP, pemilihan tugas, pembuatan prosedur kegiatan perawatan, penilaian performansi, dan peninjauan. Model RCM ini telah diterapkan pada Travancore Titanium Products Ltd dengan hasil komponen yang kritis telah teridentifikasi dan waktu rata-rata antar kegagalan beserta strategi perawatan yang tepat untuk masing-masing komponen kritis sehingga biaya ekstra yang muncul dengan mengadopsi perawatan pencegahan akan seimbang dengan penghematan biaya dari penerapan perawatan kegagalan.

2.2. Kajian Deduktif

2.2.1. Perawatan

Menurut Assauri (2008), *maintenance* merupakan kegiatan untuk memelihara atau menjaga fasilitas atau peralatan pabrik dengan mengadakan perbaikan atau penyesuaian

atau penggantian yang diperlukan supaya tercipta suatu keadaan operasional produksi yang memuaskan sesuai dengan apa yang telah direncanakan.

Pada umumnya, perawatan terbagi menjadi beberapa tujuan. Tujuan utama dari fungsi perawatan antara lain :

- a. Memperpanjang usia kegunaan aset.
- b. Menjamin tersedianya peralatan dan kesiapan operasional perawatan.
- c. Membantu mengurangi pemakaian atau penyimpanan diluar batas serta menjaga modal yang ditanamkan selama waktu yang ditentukan.
- d. Menjaga kualitas pada tingkat yang tepat untuk memenuhi apa yang dibutuhkan oleh produk itu sendiri dan kegiatan produksi yang tidak terganggu.
- e. Menekan tingkat biaya perawatan serendah mungkin dengan melaksanakan kegiatan perawatan secara efektif dan efisien.
- f. Memenuhi kebutuhan produk dan rencana produksi tepat waktu
- g. Meningkatkan keterampilan para supervisor dan operator melalui kegiatan pelatihan yang diadakan.
- h. Menghindari kegiatan *maintenance* yang dapat membahayakan keselamatan para pekerja.

2.2.2. Jenis Perawatan

Terdapat 3 jenis perawatan yang dijelaskan sebagai berikut :

- a. *Preventive maintenance* (Perawatan pencegahan)

Preventive maintenance atau perawatan pencegahan adalah suatu kegiatan perawatan yang dilakukan secara terjadwal, umumnya secara periodik. *Preventive maintenance* dilakukan untuk mencegah timbulnya kerusakan mesin, mesin akan mengalami nilai *depresiasi*/penurunan apabila digunakan terus menerus. Oleh karena itu, dibutuhkan inspeksi, perbaikan, penggantian, pembersihan, pelumasan dan penyesuaian secara rutin maupun periodik.

Terdapat beberapa tujuan dilakukannya *preventive Maintenance*, yaitu :

1. Memperpanjang umur produktif asset dengan mendeteksi bahwa sebuah asset memiliki titik kritis penggunaan (*critical wear point*) dan mungkin akan mengalami kerusakan.

2. Melakukan inspeksi secara efektif dan menjaga supaya kondisi peralatan selalu dalam keadaan sehat.
3. Mengeliminir kerusakan peralatan dan hasil produksi yang cacat serta meningkatkan ketahanan mesin dan kemampuan proses
4. Mengurangi waktu yang terbuang pada kerusakan peralatan dengan membuat aktivitas pemeliharaan peralatan
5. Menjaga biaya produksi seminimum mungkin

b. *Corrective maintenance* (Perawatan korektif)

Corrective maintenance atau perawatan korektif adalah suatu kegiatan perawatan yang dilakukan setelah mesin mengalami kerusakan atau gangguan sehingga tidak berfungsi sebagai mana mestinya atau tidak bisa melakukan produksi dengan baik dan benar. Kegiatan *corrective maintenance* biasanya kegiatan perawatan yang tidak terjadwal karena kebutuhan perawatan komponen atau sistem yang tidak dapat diprediksi.

Corrective Maintenance dibagi menjadi dua, yaitu :

1. Pemeliharaan Korektif Terencana

Pemeliharaan korektif terencana dilakukan apabila telah diketahui sejak dini kapan peralatan yang harus diperbaiki atau di *set up*, sehingga dapat dilakukan persiapan sejak awal dan mampu untuk dikendalikan misalnya overhaul terencana

2. Pemeliharaan Korektif Tidak Terencana

Pemeliharaan korektif tidak terencana dilakukan apabila mesin atau peralatan tiba-tiba berhenti atau dalam keadaan darurat atau mengalami kerusakan sewaktu digunakan. Sifat aktifitas ini selalu mendesak dan sulit untuk dikendalikan sehingga menimbulkan biaya perawatan yang cukup tinggi dan menyebabkan kegiatan produksi harus berhenti.

c. *Predictive maintenance*

Predictive maintenance, maintenance jenis ini memiliki kemiripan dengan *preventive maintenance* namun tidak dijadwal secara teratur. *Predictive maintenance* mengantisipasi kegagalan suatu peralatan sebelum terjadi kerusakan total. *Predictive maintenance* menganalisa suatu kondisi peralatan dari trend perilaku peralatan.

Tujuan dari kegiatan *Predictive Maintenance* sendiri adalah mengeliminasi gangguan pada mesin dengan menerapkan teknologi yang sesuai untuk mengukur kondisi dari sebuah mesin, mengidentifikasi dan melaporkan permasalahan secepatnya dan memprediksi waktu pelaksanaan tindakan korektif dilaksanakan.

2.2.3. Reliability Centered Maintenance

Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) meliputi pembuatan kegagalan fungsi yang kemudian akan dicari mode kerusakannya, Dengan adanya mode kerusakan, penyebab kerusakan akan ditentukan sehingga dapat dianalisis pengaruh kerusakan terhadap kerja peralatan. Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) adalah metode pemeliharaan yang menentukan langkah-langkah yang harus diambil untuk menjamin peralatan bekerja sesuai dengan fungsinya (Yudhi, 2008).

Menurut Anderson R (1990), RCM adalah salah satu manajemen perawatan yang dapat digolongkan kedalam sistem perawatan terencana (*Planned Maintenance System*). Konsep dasar dari metode RCM ini adalah mempertahankan fungsi dari salah satu sistem, tetap berfungsi sesuai dengan yang diharapkan. Manajemen perawatan ini tidak hanya memanfaatkan rekomendasi vendor saja tapi juga melibatkan analisa reliability. Hasil yang diharapkan dalam implementasi *Reliability Centered Maintenance* (RCM) dalam manajemen perawatan adalah mendapatkan suatu strategi perawatan yang optimum. Aspek spesifik yang mendasari penerapan metode Reliability Centered Maintenance (RCM) ini adalah *Failure Mode and Effect Analysis*. (FMEA). Jadi penerapan manajemen *Reliability Centered Maintenance* (RCM) ini dilakukan dengan melakukan analisa kualitatif dan kuantitatif.

Dalam pelaksanaan RCM yang paling penting adalah mengumpulkan informasi dan data untuk mengetahui dengan baik sistem yang dianalisis. Berdasarkan pendapat Anderson (1990), untuk mengimplementasikan metode RCM dengan baik, dibutuhkan langkah- langkah utama sebagai berikut::

1. *Functional Blok Diagram* (FBD)
2. Penyusunan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)
3. Penyusunan *Logic Tree Analysis* (LTA)
4. Pemilihan tindakan perawatan (*Task Selection Road Map*)

2.2.3.1. Functional Block Diagram

Functional Block Diagram merupakan diagram yang berbentuk blok- blok yang menjelaskan mengenai fungsi dari setiap komponen beserta hubungan dari komponen satu dengan yang lainnya sehingga dapat terlihat dengan jelas pengaruh antar komponen.

2.2.3.2. Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) merupakan salah satu teknik yang sistematis untuk menganalisis kegagalan. Teknik analisis ini lebih menekankan pada *hardware-oriented approach* atau *bottom-up approach*. Dikatakan demikian karena analisis yang dilakukan dimulai dari peralatan dan meneruskannya ke sistem yang merupakan tingkat yang lebih tinggi.

FMEA sering menjadi langkah awal dalam mempelajari kehandalan sistem. Kegiatan FMEA melibatkan banyak hal-seperti *me-review* berbagai komponen, rakitan dan subsistem untuk mengidentifikasi mode-mode kegagalannya, penyebab kegagalannya, serta dampak kegagalan yang ditimbulkan. Untuk masing-masing komponen, berbagai mode kegagalan berikut dampaknya pada sistem ditulis pada sebuah *FMEA worksheet*.

Sistem :									
No	Equipment	Sub Equipment	Functional	Failure Mode	Effect of Failure	S	O	D	RPN

Gambar 2.1 FMEA Worksheet

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

1. Severity

Severity adalah langkah pertama untuk menganalisis resiko, yaitu menghitung seberapa besar dampak atau intensitas kejadian mempengaruhi output proses. *Severity* adalah suatu perkiraan subjektif mengenai kerumitan suatu kegagalan dan bagaimana buruknya pengguna akhir akan merasakan akibat dari kegagalan.

Tabel 2. 1 Tabel Severity

Tingkatan Severity Rangkings	Akibat (Effect)	Kriteria Verbal	Akibat pada produksi
1	Tidak ada akibat	Tidak mengakibatkan apapun (tidak ada akibat), penyesuaian diperlukan	Proses dalam pengendalian
2	Akibat sangat ringan	Mesin tetap dapat beroperasi dan keadaan aman, hanya terdapat sedikit gangguan kecil. Serta hanya terdapat gangguan kecil pada peralatan. Akibat dapat diketahui hanya oleh operator yang berpengalaman	Proses berada dalam pengendalian, hanya membutuhkan sedikit penyesuaian
3	Akibat ringan	Mesin tetap dapat beroperasi dan keadaan aman, hanya terdapat sedikit gangguan kecil. Serta hanya terdapat gangguan kecil pada peralatan. Akibat dapat diketahui oleh semua operator	Proses telah berada diluar pegendalian, membutuhkan beberapa penyesuaian
4	Akibat minor	Mesin tetap beroperasi dan dalam keadaan aman, tetapi menimbulkan beberapa kegagalan atau kecacatan pada produk. Operator merasa tidak puas akibat kinerja yang berkurang	kurang dari 30 menit downtime atau tidak ada kehilangan waktu produksi
5	Akibat Moderat	Mesin tetap beroperasi dan dalam keadaan aman, tetapi menimbulkan beberapa kegagalan atau kecacatan pada produk. Operator merasa tidak puas akibat kinerja yang berkurang	30-60 menit downtime
6	Akibat Signifikan	Mesin tetap beroperasi dan dalam keadaan aman, tetapi menimbulkan kegagalan atau kecacatan pada produk. Operator merasa sangat tidak puas dengan kinerjanya sendiri	1-2 jam <i>downtime</i>

Tingkatan Severity Rangkaing	Akibat (Effect)	Kriteria Verbal	Akibat pada produksi
7	Akibat Major	Mesin tetap beroperasi dan dalam keadaan aman, tetapi tidak dapat dijalankan secara penuh. Operator merasa sangat tidak puas	2-4 jam <i>Downtime</i>
8	Akibat Ekstrem	Mesin tidak dapat beroperasi, mesin telah kehilangan fungsi utama mesin	4-8 jam <i>downtime</i>
9	Akibat Serius	Mesin gagal dalam beroperasi, dan tidak memenuhi standart keselamatan kerja	> 8 jam <i>downtime</i>
10	Akibat berbahaya	mesin tidak layak untuk dioperasikan, karena dapat menimbulkan kecelakaan kerja secara tiba-tiba , dan tidak memenuhi standart keselamatan kerja	> 8 jam <i>downtime</i>

2. Occurence

Occurence adalah kemungkinan bahwa penyebab tersebut akan terjadi dan menghasilkan bentuk kegagalan selama masa penggunaan (*Possible failure rates*).

Dengan memperkirakan kemungkinan *occurrence* pada skala 1 sampai 10.

Tabel 2.2 Tabel *Occurence*

Rangkaing	Kejadian	Kriteria	Tingkat Kejadian Kerusakan
1	Hampir tidak pernah ada	Kerusakan tidak pernah terjadi	Lebih besar dari 10.000 jam operasi
2	Remote	Kerusakan mesin jarang terjadi	6.001-10.000 jam operasi
3	Sangat Sedikit	kerusakan mesin terjadi sangat sedikit	3.001-6.000 jam operasi
4	Sedikit	kerusakan mesin terjadi sedikit	2.001-3.000 jam operasi
5	Rendah	kerusakan mesin terjadi dengan tingkat rendah	1.001-2.000 jam operasi
6	Medium	kerusakan mesin terjadi pada tingkat medium	401-1.000 jam operasi

Rangking	Kejadian	Kriteria	Tingkat Kejadian Kerusakan
7	Agak tinggi	kerusakan terjadi agak tinggi	101-400 jam operasi
8	Tinggi	kerusakan terjadi tinggi	11-100 jam operasi
9	Sangat tinggi	kerusakan terjadi sangat tinggi	2-10 jam operasi
10	Hampir selalu	kerusakan selalu terjadi	kurang dari jam operasi

3. *Detection*

Detection adalah pengukuran terhadap kemampuan mengendalikan atau mengontrol kegagalan yang dapat terjadi. Berikut adalah nilai dari *detection*

Tabel 2.3 Tabel *Detection*

Rangking	Akibat	Kriteria Verbal
1	Hampir pasti	Perawatan preventive akan selalu mendekati penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
2	sangat tinggi	perawatan preventive memiliki kemungkinan sangat tinggi untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
3	Tinggi	perawatan preventive memiliki kemungkinan tinggi untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
4	Moderate highly	Perawatan preventive memiliki kemungkinan moderate highly untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
5	Moderate	Perawatan preventive memiliki kemungkinan moderate untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
6	Rendah	Perawatan preventive memiliki kemungkinan rendah untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan

Rangking	Akibat	Kriteria Verbal
7	Sngat Rendah	Perawatan preventive memiliki kemungkinan sangat rendah untuk mendeteksi peyebab pootensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
8	Remote	Perawatan preventive memiliki kemungkinan remote untuk mendeteksi peyebab pootensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan

4. Risk Priority Number

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

$$RPN = S \times O \times D \quad \dots (2.1)$$

Dimana :

RPN : *Risk Priority Number*

S : *Severity*

O : *Occurrence*

D : *Detection*

Langkah-langkah dalam penyesunan *Failure Mode and Effects Analysis* sebagai berikut:

1. Menentukan nama mesin dan komponen yang menjadi objek FMEA
2. Mendeskripsikan fungsi dari komponen yang dianalisis
3. Mengidentifikasi *Function failure* atau kegagalan fungsi
4. Mengidentifikasi *Failure Mode* atau penyebab kegagalan yang terjadi
5. Mengidentifikasi *Failure effect* atau dampak yang ditimbulkan dari kegagalan sistem.
6. Menentukan *Severity* atau penilaian keseriusan efek dari bentuk kegagalan
7. Menentukan *Occurrence* yaitu seiring apa penyebab kegagalan spesifik dari suatu proyek tersebut terjadi.
8. Menentukan *Detection* atau penilaian dari kemungkinan suatu alat dapat mendeteksi penyebab terjadinya bentuk kegagalan.

9. Menghitung RPN (*Risk Priority Number*) yaitu angka prioritas resiko yang didapatkan dari perkalian *severity*, *occurrence*, dan *detection* dengan rumus pada persamaan

2.2.3.3. *Logic Tree Analysis (LTA)*

Untuk menentukan *failure consequences* dari *failure mode* yang ditemukan, *tools* yang dapat digunakan adalah *Logic Tree Analysis (LTA)*. LTA dirancang untuk memprioritaskan sumber daya yang akan digunakan pada penanganan setiap *failure mode*. Penggunaan LTA dengan baik akan dapat membedakan setiap *failure mode* kedalam tiga jenis kerugian, yaitu: terkait keamanan, pemberhetian kerja atau terkait kerugian ekonomi (Smith dan hinchclife, 2004). LTA juga mampu mengklasifikasin *failure mode* kedalam klasifikasi *hidden failure* atau tampak (Smith dan Hichclife, 2004). Gambar 2.2 menggambarkan pertanyaan-pertanyaan dalam LTA untuk mencari tahu dampak dari sebuah *failure mode*.

Tujuan dari LTA yaitu mengklasifikasikan *failure* atau kegagalan untuk mengetahui tingkat prioritas berdasarkan kategorinya. Analisis kekritisan dari mode kegagalan ditempatkan dalam satu dari empat kategori penting (Smith & Glenn,2004) yaitu:

1. *Evident*, yaitu apakah operator dalam kondisi normal dapat mengetahui bahwa telah terjadi adanya kegagalan?
2. *Safety*, yaitu apakah adanya kegagalan tersebut dapat membahayakan keselamatan?
3. *Outage*, yaitu apakah mode kegagalan ini dapat mengakibatkan seluruh atau sebagian sistem terhenti?
4. *Category*, yaitu mengklasifikasikan jawaban dari pertanyaan yang diajukan kedalam beberapa kategori. Pada bagian ini kategori LTA dibagi menjadi 4 yaitu:
 - a. Kategori A (*Safety problem*)
Yaitu apabila mode kegalalan mempunyai konsekuensi membahayakan keselamatan bahkan menyebabkan kematian pada seseorang. Kegagalan ini juga mempunyai konsekuensi lingkungan seperti melanggar peraturan lingkungan yang telah ditetapkan dalam hukum sebelumnya.
 - b. Kategori B (*Outage problem*)
Yaitu apabila mode kegagalan mempunyai konsekuensi terhadap *operasional plant* seperti kuantitas, kualitas produk terhadap hasil produksi yang dapat membengkakkan biaya.

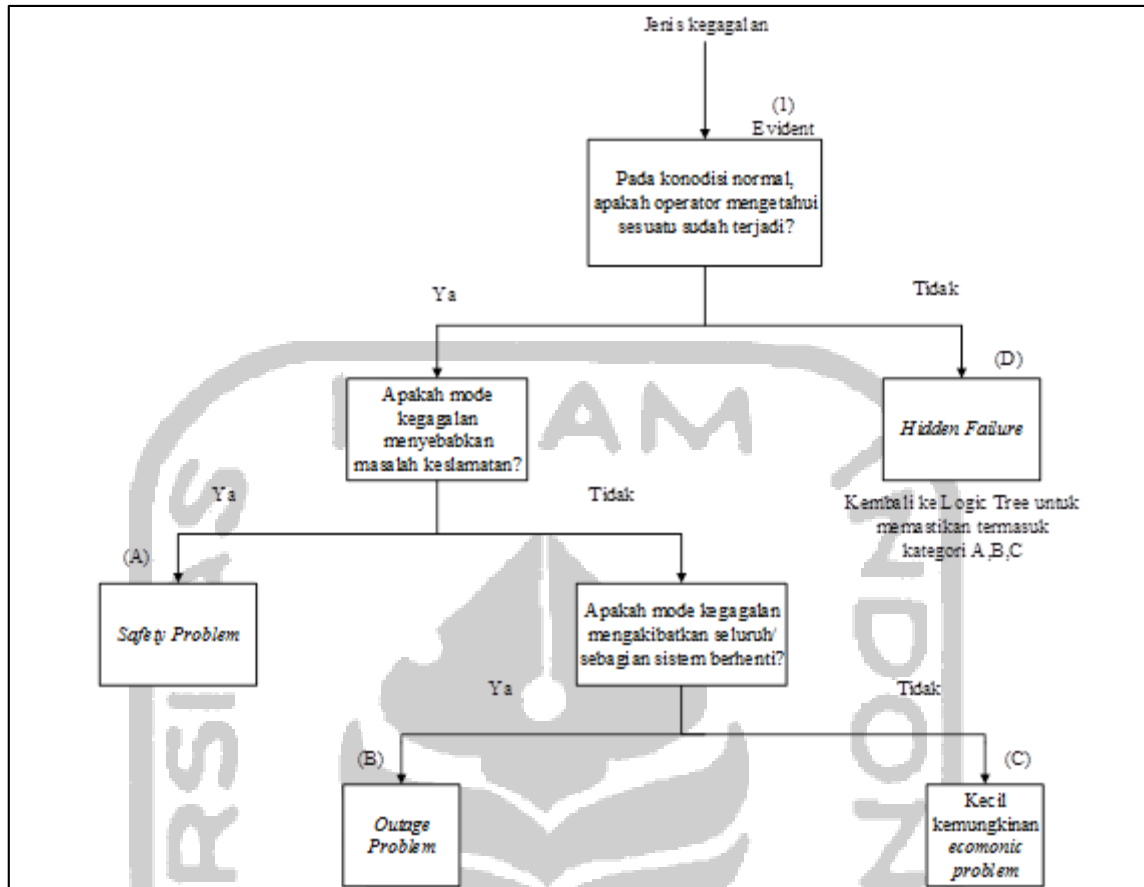
c. Kategori C (*Economic problem*)

Yaitu apabila mode kegagalan tidak mempunyai konsekuensi terhadap *safety* maupun terhadap *operasional plant*, dan hanya mempengaruhi ekonomi yang relatif kecil meliputi biaya perbaikan.

d. Kategori D (*Hidden Failure*)

Yaitu apabila mode kegagalan memiliki dampak secara langsung, namun apabila perusahaan tidak menanggulangnya resiko ini akan menjadi serius bahkan dapat memicu kegagalan lainnya.

Setiap *failure mode* akan ditanyakan pertanyaan sesuai dengan yang ada di *box* LTA dengan urutan mulai dari atas ke bawah. Jika operator tidak dapat mengetahui terjadinya abnormalitas pada saat pengoperasian normal maka *failure mode* tersebut dikategorikan *failure mode* tipe D namun jika abnormalitas diketahui maka dapat dikatakan bahwa *failure mode* dapat dideteksi oleh operator. Pertanyaan pertama ini dilakukan untuk mengetahui *failure mode* termasuk kategori *hidden* atau tampak. Pertanyaan kemudian akan dilanjutkan hingga level pertanyaan paling bawah untuk mengetahui dampak dari setiap *failure mode* terhadap perusahaan. Ketika proses pengklasifikasian dengan LTA telah selesai dilaksanakan, maka *failure mode* akan diklasifikasikan dengan A,B,C,D/A,D/B, atau D/C.



Gambar 2.2 Structure Logic Tree Analysis
Sumber : Smith & Glenn (2004)

2.2.3.4. Pemilihan tindakan perawatan (Task Selection Road Map)

Pemilihan tindakan merupakan langkah terakhir dalam metode RCM. Proses ini dilakukan dengan memilih tindakan yang tepat untuk mode kegagalan tertentu. Pada gambar 2.3 dapat dilihat *road map* pemilihan tindakan pada RCM.

Tindakan perawatan pada *road map* pemilihan tindakan dapat dibagi menjadi 3 yaitu:

1. *Time Derected (TD)*

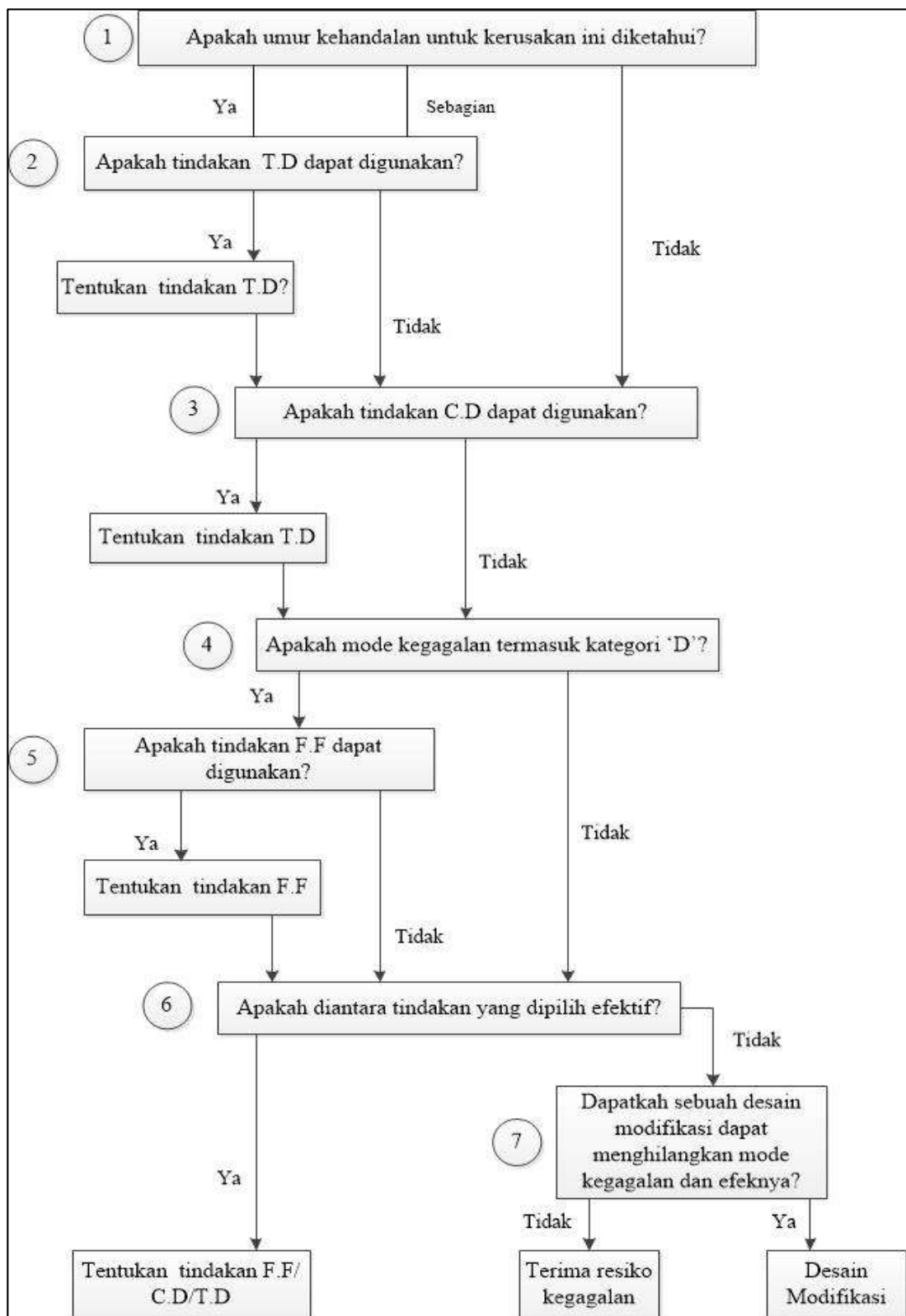
Tindakan perawatan yang dilakukan secara langsung terhadap sumber kerusakan dengan didasari umur ataupun waktu dari komponen.

2. *Condition Derect (CD)*

Tindakan perawatan yang dilakukan dengan memeriksa dan inspeksi. Apabila didalam inspeksi terdapat gejala-gejala kerusakan, maka dilanjutkan dengan perbaikan atau penggantian komponen.

3. *Finding Failure (FF)*

Tindakan perawatan yang dilakukan dengan tujuan untuk menemukan kerusakan yang tersembunyi dengan pemeriksaan berkala.



Gambar 2. 3 Road Map pemilihan tindakan
Sumber : Smith & Glenn (2004)

2.2.4. Keandalan (Reliability)

Reliability atau keandalan dapat didefinisikan sebagai nilai probabilitas bahwa suatu komponen atau sistem akan sukses menjalani fungsinya, dalam jangka waktu dan kondisi operasi tertentu (Ebeling,1997). Keandalan dapat dirumuskan sebagai integral dari distribusi probabilitas suksesnya operasi suatu komponen atau sistem, sejak waktu mulai beroperasi (*Switch on*) sampai dengan terjadinya kegagalan (*failure*) pertama.

2.2.5. Fungsi Keandalan

Fungsi keandalan (*Reliability*) diartikan sebagai banyaknya kemungkinan suatu mesin atau komponen dapat beroperasi dengan baik tanpa terjadi kegagalan maupun pada suatu periode waktu t dalam keadaan operasi standar. Sehingga dapat dirumuskan oleh Gasperz (1998) sebagai berikut :

$$R(t) = 1 - F(t) \quad \dots (2.2)$$

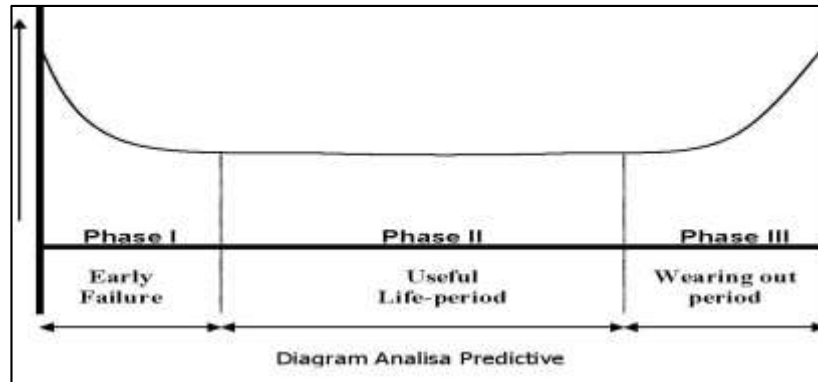
$$R(t) = 1 - \int_0^t f(t)dt \quad \dots (2.3)$$

Untuk $R(t) \geq 0$, $R(0) = 1$, dan $\lim_{t \rightarrow \infty} R(t) = 0$

Dimana: $R(t)$ adalah distribusi keandalan yang merupakan probabilitas bahwa waktu kerusakan lebih besar atau sama dengan t , sedangkan $F(t)$ adalah fungsi distribusi kegagalan atau kerusakan dari mesin.

2.2.6. Laju Kerusakan

Didalam masa kerjanya, suatu mesin atau komponen akan mengalami kerusakan yang dapat mempengaruhi performa kinerja dan efisiensinya. Kerusakan-kerusakan tersebut apabila dilihat secara temporer mengalami suatu laju tertentu yang berubah-ubah. Laju kerusakan (*Failure mode*) merupakan *dinamic object* yang mempunyai performa yang berubah terhadap waktu. Plot tingkat kegagalan dengan bentuk bak mandi disebut *Bathtub Curve*, dan model dengan tingkat kegagalan bak mandi disebut *Bathtub Curve model*. Dengan demikian, *kurva bathtub* dapat menjelaskan perilaku kegagalan dari kumpulan komponen yang tidak dapat diperbaiki. Menurut Ebeling (1997), *bathtub Curve* dicirikan oleh tiga fase (yaitu fase penggunaan awal, fase penggunaan normal dan fase aus seperti dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2. 4 Grafik Laju kerusakan (*Failure Mode*) terhadap waktu
Sumber : Ebeling (1997)

Berikut ini adalah penjelasan dari *Bathup Curve* yang terbagi menjadi tiga daerah kerusakan, daerah kerusakan tersebut adalah:

1. *Early Failure*

Daerah ini merupakan periode berawalanya suatu komponen beroperasi atau dapat dikatakan komponen masih baru sehingga realibilitnya masih 100%, dengan periode waktu (t) yang pendek. Didalam grafik ditunjukkan pada *early failure* yang semula tinggi akan semakin turun seiring berjalannya waktu atau dapat dikatakan dengan istilah *Decreasing Failure Rate (DFR)*. Hal ini dapat disebabkan akibat proses *manufacture* atau fabrikasi yang kurang sempurna.

2. *Useful Life-Perform*

Menurut Gasperz (2001) pada periode ini disebut *Constan Failure Rate (CFR)* dimana failure rate nya mengalami laju kerusakan yang rendah dan konstan terhadap pertambahan waktu. Didalam daerah ini, sebagian besar umur komponen atau sistem berada dan dalam periode ini tidak dapat ditentukan apakah sistem dapat berjalan sesuai standart atau belum. Persamaan reliability pada *useful life time* yang dimana mengalami *failure reate* yang konstan adalah:

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

Persamaan diatas digunakan untuk mesin atau komponen yang masih baru sehingga tingkat kehandalannya diasumsikan pada keadaan $R(t) = 100\%$. Sedangkan untuk komponen atau mesin yang sudah tidak baru lagi atau sudah pernah mengalami *maintenance* sebelumnya, persamaan dapat ditulis dengan:

$$R(t) = Me^{-\lambda t}$$

Dimana:

- R(t) = Nilai Keandalan (%)
- M = Nilai Keandalan setelah dilakukan kegiatan maintenance (%)
- λ = Laju Kerusakan
- t = Periode waktu yang diinginkan

3. *Wearing Out Region*

Pada periode ini adalah periode akhir umur pakai dari mesin atau komponen. Laju kerusakan mengalami kenaikan yang tinggi seiring dengan berjalannya waktu atau bisa disebut *Increasing Failure Rate* (IFR). Akhir dari periode ini adalah ketika *Reliability* ini mencapai 0 atau ketika mesin tidak dapat diperbaiki lagi.

2.2.7. Fungsi Disbribusi Kerusakan

Dalam penerapan preventive maintenance ini, data waktu kerusakan yang akan dihitung merupakan hasil pengukuran maka data ini termasuk dalam data kontinu. Oleh karena itu, distribusi yang digunakan untuk menghitung waktu kerusakan dan waktu perbaikan adalah dengan distribusi Normal (Gaussian), Lognormal, Exponensial, dan Weibull.

2.2.7.1. Distribusi Normal

Distribusi Normal cocok untuk digunakan dalam memodelkan keausan (kelelahan) dan sebagai pendekatan yang baik untuk proses kegagalan. Distribusi ini dapat juga digunakan untuk menganalisa probabilitas lognormal. Kurva dari distribusi normal ini berbentuk lonceng(genta) yang bergantung pada dua parameter yaitu nilai tengah (μ) dan standar deviasi (σ) menurut Ebeling (1997). Fungsi- fungsi dari Distribusi Normal yaitu:

1. Fungsi Keandalan (*Reliability Function*)

$$R(t) = 1 - F(t) \quad \dots(2.4)$$

$$R(t) = 1 - \Phi \left[\left(\frac{t - \mu}{\sigma} \right) \beta \right] \quad \dots(2.5)$$

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

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp \left(- \frac{1}{2} \frac{(t - \mu)^2}{\sigma^2} \right) \quad \dots(2.6)$$

untuk $-\infty < t < \infty$

dimana t=waktu

3. Fungsi Kumulatif Kerusakan (*Cummulative Density Function*)

$$F(t) = \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \quad \dots(2.7)$$

4. Fungsi Laju Kerusakan (*Hazard Rate Function*)

$$\lambda t = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1-\Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)} \quad \dots(2.8)$$

2.2.7.2. Distribusi Lognormal

Distribusi Lognormal memiliki dua buah parameter yang digunakan yaitu parameter bentuk (s) dan parameter lokasi (t_{med}). Lognormal memiliki banyak bentuk seperti distribusi weibul, berikut ini adalah beberapa fungsi dari distribusi lognormal, yaitu:

1. Fungsi Keandalan (*Reliability Function*)

$$R(t) = 1 - F(t) \quad \dots(2.9)$$

$$R(t) = 1 - \Phi\left[\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^\beta\right] \quad \dots(2.10)$$

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

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left[-\frac{(\ln(t)-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad \dots(2.11)$$

untuk $-\infty < t < \infty$ atau,

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left[-\frac{1}{2s^2} \ln\left(\frac{t}{t_{med}}\right)^2\right] \quad \dots(2.12)$$

3. Fungsi Kumulatif Kerusakan (*Cummulative Density Function*)

$$F(t) = \Phi\left(\frac{\ln(t)-\mu}{\sigma}\right) \quad \dots(2.13)$$

atau

$$F(t) = \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}}\right) \quad \dots(2.14)$$

4. Fungsi Laju Kerusakan (*Hazard Rate Function*)

$$\lambda t = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1-\Phi\left(\frac{\ln(t)-\mu}{\sigma}\right)} \quad \dots(2.15)$$

2.2.7.3. Distribusi Exponensial

Distribusi eksponensial dapat digunakan dalam mencari selisih mmaupun selang waktu didalam peluang tertentu. Menurut Steven Nahmias (2001) distribusi Eksponensial

mempunyai laju kerusakan yang bersifat konstan terhadap waktu dengan kata lain probabilitas kerusakan tidak tergantung pada umur komponen atau alat. Data yang digunakan didalam distribusi ini menggunakan variabel random yang dimana merupakan nilai atau angka yang mempunyai kesempatan muncul didalam sebuah percobaan.

Menurut *Ebeling* (1997) parameter yang digunakan didalam eksponensial yaitu λ yang diartikan sebagai rata-rata datangnya kerusakan terjadi. Dengan $\lambda(t) = \lambda, t \geq 0, \lambda > 0$, sehingga dihasilkan fungsi-fungsi sebagai berikut:

1. Fungsi Keandalan (*Reliability Function*)

$$R(t) = \exp(-\lambda t) \quad \dots(2.16)$$

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

$$f(t) = \lambda \exp(-\lambda t) \quad \dots(2.17)$$

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

3. Fungsi Kumulatif Kerusakan (*Cummulative Density Function*)

$$F(t) = 1 - \lambda \exp(-\lambda t) \quad \dots(2.18)$$

4. Fungsi Laju Kerusakan (*Hazard Rate Function*)

$$\lambda t = \frac{f(t)}{R(t)} = \lambda \quad \dots(2.19)$$

2.2.7.4. Distribusi Weibull

Distribusi *Weibull* merupakan distribusi yang sangat banyak digunakan untuk menghitung laju kerusakan karena distribusi ini baik untuk digunakan laju kerusakan meningkat maupun laju kerusakan menurun. Dengan demikian distribusi ini dapat digunakan untuk menganalisa resiko karena dapat menduga umur pakai (life time) komponen. Menurut *Ebeling* (1997), terdapat dua parameter yang digunakan yaitu :

β (Beta) = parameter bentuk (*shape parameter*)

θ (Teta) = parameter skala (*scale parameter*)

Dengan kedua parameter dari distribusi weillbull ini, maka didapatkan beberapa fungsi – fungsi, yaitu :

1. Fungsi Keandalan (*Reliability Function*)

$$R(t) = \exp \left[\left(-\frac{t}{\theta} \right)^\beta \right] \quad \dots(2.20)$$

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

$$f(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta} \right)^{\beta-1} \exp \left[\left(-\frac{t}{\theta} \right)^\beta \right] \quad \dots(2.21)$$

3. Fungsi Kumulatif Kerusakan (*Cummulative Density Function*)

$$F(t) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{t}{\theta} \right)^\beta \right] \quad \dots(2.22)$$

4. Fungsi Laju Kerusakan (*Hazard Rate Function*)

$$\lambda t = \frac{F(t)}{R(t)} = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta} \right)^{\beta-1} \quad \dots(2.23)$$

2.2.8. Model perawatan penggantian pencegahan Age Replacement

Model *Age Replacement* menurut AKS Jardine (1997) adalah metode yang digunakan dalam menentukan penjadwalan penggantian komponen berdasarkan interval waktu kerusakan yang memperhatikan umur pakai dari komponen tersebut dengan kriteria minimasi downtime. Metode ini dapat menghindari pergantian komponen baru yang relatif cepat dari waktu pergantian sebelumnya sehingga dapat meminimasi biaya. Jadi apabila pergantian komponen sudah dilakukan, maka penggantian komponen selanjutnya berdasarkan interval waktu yang telah ditentukan.

Model ini cocok diterapkan pada komponen yang mempunyai interval waktu pengantiannya tidak akan mempengaruhi komponen lainnya atau apabila terdapat kerusakan komponen dalam satu set mesin maka hanya ada satu komponen rusak saja yang akan dilakukan penggantian. Asumsi lain dalam model ini adalah apabila persediaan komponen selalu ada dan mesin yang sudah digantikan komponennya akan dapat kembali pada kondisi sebelumnya.

Pada model *Age Replacement* ini terdapat dua siklus penggantian pencegahan, yaitu:

- Siklus 1 yaitu pencegahan yang diakhiri dengan kegiatan penggantian pencegahan, ditentukan melalui komponen yang telah mencapai umur penggantian sesuai yang telah direncanakan sebelumnya.
- Siklus 2 pencegahan yang diakhiri dengan kegiatan penggantian kerusakan, ditentukan melalui komponen yang telah mengalami kerusakan sebelum mencapai waktu penggantian yang telah ditetapkan sebelumnya.

Persamaan penentuan interval penggantian pencegahan dapat ditulis sebagai berikut:

$$D(tp) = \frac{Tp.R(tp) + Tf.(1-R(tp))}{(tp+Tp).R(t) + (M(tp)+Tf).(1-R(tp))} \quad \dots(2.24)$$

Keterangan Rumus:

tp = Interval waktu penggantian pencegahan

T_f = Waktu untuk melakukan penggantian kerusakan komponen

T_p = Waktu untuk melakukan penggantian preventif

$R(tp)$ = Probabilitas terjadinya penggantian pencegahan pada saat tp

$M(tp)$ = Waktu rata-rata terjadinya kerusakan jika penggantian perbaikan pada masa t_p yang dapat dicari dengan rumus $M(tp)$:

$$M(tp) = \frac{MTTF}{1-R(tp)} \quad \dots(2.25)$$

