

BAB II

KAJIAN LITERATUR

2.1. Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai perawatan mesin ini banyak dilakukan oleh peneliti terdahulu seperti Aufar et al. (2014) yang menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* untuk menentukan kebijakan perawatan area produksi *Trim Chassis*. Submesin yang dipilih didalam penelitian ini adalah mesin *overhead conveyor* (OHC) dengan jumlah *downtime* tertinggi dibanding dengan submesin lainnya. Pendekatan yang digunakan yaitu *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dan *Logic Tree Analysis* (LTA). Dari metode FMEA ini didapatkan 38 mode kegagalan dari 8 kegagalan fungsional dengan kebijakan saat ini yaitu secara *time directed* (TD), sedangkan pada LTA didapatkan kebijakan baru untuk mengatasi adanya kegagalan yaitu perawatan secara *condition directed* (CD). Namun dilihat dari kondisi perusahaan peneliti, tidak semua kebijakan baru dapat digunakan dengan optimal karena perlu adanya pertimbangan ketersediaan operator dan pertimbangan penyesuaian dengan target produksi.

Selanjutnya Ardhiyana et al. (2015) menyelesaikan masalah perawatan menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* pada sebuah perusahaan industri air minum dalam kemasan dengan pengambilan objek mesin kritis yaitu mesin pembersih botol 5 galon. Hasil dari penelitian ini yaitu penjadwalan interval penggantian pencegahan dengan total *downtime* minimal sehingga dapat mereduksi biaya-biaya yang terjadi dan membandingkan *reliability* sebelum dan sesudah dilakukannya perawatan dengan RCM.

Pobporn, et al. (2014) dalam penelitiannya menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) yang diimplementasikan pada sistem distribusi tenaga pada *Provincial Electricity Authority Central Area 1* untuk melakukan perawatan yang

dapat menghemat biaya . Penelitian ini lebih memprioritaskan mode kegagalan yang mempunyai efek disetiap mode kegagalannya, kemudian memilih perawatan yang efektif untuk menanggulangnya. RCM didalam penelitian ini didukung dengan model *benefit to cost ratio* (B / C) antara *outage cost* dan *maintenance cost* untuk menjamin efektivitas biaya yang terjadi. Namun untuk masalah penjadwalan interval perawatan belum dikaji.

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

Denur et al. (2017) melakukan penelitian pada mesin *Ripple Mill* di perusahaan PT. Perkebunan Nusantara V menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) yang mendapatkan hasil 2 mesin kritis dengan 17 *Failure mode* yang menyebabkan terjadinya kerusakan fungsi mesin. Pada *step* LTA, *failure mode* dengan kategori C yang mempunyai nilai signifikan lebih banyak daripada kategori lain. Untuk perlakuan kebijakan perawatan, peneliti menggunakan nilai *Betha* yang apabila nilai kurang dari 1, pemeliharaan yang dilakukan yaitu *Predictive Maintenance*.

Pendekatan lain yang digunakan dalam *preventive maintenance* yaitu dengan *Total Productive Maintenance* (TPM) yang dilakukan oleh peneliti Sanjaya & Mutmainah (2016) pada perawatan mesin press 80 ton untuk lini P3C033&4. Metode TPM adalah metode yang berasal dari negara Jepang yang dapat digunakan dalam meningkatkan produktivitas dan efisiensi produksi perusahaan dengan mengoptimalkan penggunaan mesin secara efektif. Nilai OEE yang didapatkan pada peneliti bertujuan untuk mengetahui seberapa baik mesin dalam bekerja. Pada kasus ini didapatkan nilai OEE yang tidak memenuhi target yaitu sebesar 50,57% dengan target standrat internasional sebesar 85%. Untuk mengetahui permasalahan nilai OEE yang tidak sesuai

target yaitu menggunakan *six big losses* yang ditemukan akar permasalahan yaitu lamanya waktu *loss time die*. Untuk mengetahui berbagai penyebab dari permasalahan tersebut maka dibuatlah diagram *fishbone*. Kemudian untuk mengurangi lamanya *downtime*, dilakukan modifikasi peralatan *die*.

Metode TPM juga digunakan untuk menentukan strategi perawatan pada *batching section* produksi ternak di PT Sierad Produce oleh Haranditya et al. (2014). Metode dan tahap yang digunakan dalam penelitian ini sama dengan yang digunakan oleh peneliti Sanjaya dan Mutmainah (2016). Selain mesin dan lokasi, perbedaan penelitian ini terdapat pada analisis penyebab dari permasalahan yang diperoleh dari *six big losses* yaitu menggunakan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). Nilai RPN tertinggi dari FMEA terdapat kegagalan *elevator* dan *mixer*, yang kemudian peneliti memberikan rekomendasi perbaikan berdasarkan konsep TPM.

Berbagai studi terdahulu mengenai perawatan mesin secara *preventive maintenance* pada perusahaan PLTU juga telah dilakukan pada beberapa peneliti salah satunya yaitu Rachman et al. (2017) menemukan permasalahan didalam perusahaan yang bergerak didalam produksi listrik tenaga uap yaitu sering terjadinya kegagalan mesin boiler sehingga dapat mengganggu pemenuhan keinginan konsumen. Komponen kritis yang didapatkan dari perhitungan FMEA yaitu komponen *gland seal steam* dan *check valve* dengan memiliki *Risk Priority Number* (RPN) terbesar sehingga dibutuhkan perlakuan dan perhatian khusus terhadap komponen kritis tersebut. Hasil *task selection logic tree analysis* (LTA) dari perawatan RCM terdapat satu komponen kritis yang direncanakan dengan perawatan CD (*condition directed*), yaitu El Bow, dan 2 komponen kritis yang direncanakan dengan perawatan TD (*time directed*) yaitu *gland seal steam* dan *check valve*. Hasil dari RCM juga termasuk penjadwalan Interval penggantian optimum komponen dengan pendekatan *Total Minimum Downtime*.

Taufik & Selly Septyani (2015) juga membahas mengenai perawatan mesin di perusahaan PLTU Ombilin dengan menentukan interval waktu menggunakan metode *age replacement*. Dalam penentuan mesin kritis, peneliti menggunakan metode ABC Analisis dan diagram pareto. Data *downtime* yang ada, dihitung dengan distribusi yang terpilih sehingga menghasilkan nilai MTTF dan MTTR. Penggantian komponen untuk membran turbin adalah selama 3000 jam setelah mesin beroperasi. *Availability* mesin menghasilkan 95% setelah dilakukannya *preventive maintenance*

Dalam penelitian yang dilakukan Ekawati et al., (2016) juga menggunakan metode *Age replacement* dalam menentukan interval waktu penggantian pencegahan secara *preventive maintenance*. Metode dan tahapan langkah yang digunakan sama dengan peneliti Taufik & Septyani (2015). Perbedaan yang terdapat dalam penelitian ini yaitu lokasi, serta penerapan metode *age replacement* didasarkan pada *minimasi cost* untuk menentukan interval penggantian komponen mesin kritis .

Terdapat dua pendekatan yang biasa digunakan untuk merencanakan kegiatan *preventive maintenance* (Rachman, 2017) yaitu dengan pendekatan *Reliability Centered Maintenance* (RCM) dan *Total Productive Maintenance* (TPM). Pada metode TPM yang telah diteliti (Sanjaya& Mutmainah 2016; Haranditya et al., (2014)) masih memiliki kelemahan yang hanya berorientasi pada kegiatan management. Sedangkan untuk RCM yang sudah diteliti oleh beberapa peneliti sebelum ini (Aufar et al, (2014); Ardhiyayana et al. (2015); Rasindyo et al., (2015); Pobporn, et al. (2014); Denur et al. (2017)) yang lebih berorientasi pada kegiatan teknis. RCM memberikan tindakan yang berupa pertimbangan apabila kegiatan *preventive maintenance* tidak mungkin dilakukan, sehingga kelebihan RCM dapat dilakukan dalam perawatan mesin sesuai kebutuhan. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan pendekatan menggunakan RCM. Namun pada kegiatan perawatan mesin secara *preventive maintenance* sangat penting ditentukannya interval atau jadwal penggantian komponen yang sesuai agar mesin selalu dalam keadaan yang optimal dalam beroperasi. Penggantian komponen ini menggunakan metode *Age Replacement* seperti pada penelitian terdahulu (Chintya Ekawati et al. (2016); Taufik dan Septyani 2015). Penelitian ini dilakukan pada perusahaan PLTU seperti dalam penelitian (Rachman 2017; Taufik dan Selly Septyani (2015)). Namun perbedaan dalam penelitian ini selain pada mesin dan lokasi PLTU, juga pada penggabungan dua metode yang digunakan pada masing-masing peneliti diatas.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Perawatan (*Maintenance*)

Definisi *Maintenance* menurut Wati (2009) adalah “semua tindakan teknik dan administratif yang dilakukan untuk menjaga agar kondisi mesin/peralatan tetap baik dan

dan dapat melakukan segala fungsinya dengan baik, efisien, dan ekonomis sesuai dengan tingkat keamanan yang tinggi.” Sehingga dapat dikatakan semakin berjalannya waktu maka fungsi dari mesin yang digunakan dalam proses produksi akan semakin berkurang. Namun dengan adanya suatu sistem perawatan yang baik dan tepat yang dilakukan secara berkala, maka umur dan fungsi mesin dapat diperpanjang. Terdapat dua hasil dari kegiatan perawatan, yaitu :

- a) *Condition maintenance*, yaitu kegiatan perawatan untuk mempertahankan agar mesin atau peralatan dapat digunakan dengan baik sesuai dengan umur ekonomisnya.
- b) *Replacement maintenance*, yaitu kegiatan perawatan dengan penggantian komponen dengan tepat waktu sesuai penjadwalan yang sudah direncanakan.

2.2.2 Tujuan Maintenance

Tujuan pemeliharaan yang utama menurut Antony Corder (1973) antara lain:

1. Memperpanjang umur penggunaan asset.
2. Menjamin *availability* yang optimal dari mesin atau komponen sehingga diharapkan dapat mendapatkan laba yang maksimum.
3. Menjamin kesiapan operasional pada semua peralatan yang diperlukan dalam keadaan dadakan maupun darurat.
4. Mengurangi kecelakaan ditempat kerja dan menjamin keselamatan bagi yang menggunakannya.

2.2.3 Jenis- Jenis Perawatan

Terdapat beberapa jenis perawatan menurut Assauri (1993) yaitu:\

1. Perawatan Terencana (*Planned Maintenance*)
Menurut Panneerselvam (2005), tujuan dari metode ini adalah “*Planned maintenance aims to have trouble free machines and equipments to produce defect free products to fully satisfy customers requirements.*” Dikatakan bahwa *planned maintenance* mempunyai tujuan agar mesin yang digunakan untuk berproduksi bebas dari kegagalan atau masalah sehingga produksi tidak terhambat dan menghasilkan produk yang berhasil atau tidak cacat agar

kepuasan konsumen dapat terpenuhi. Definisi lain mengenai *Planned maintenance* menurut Wati (2009), “pemeliharaan yang diorganisasi dan dilakukan dengan pemikiran ke masa depan, pengendalian dan pencatatan sesuai dengan rencana yang telah ditentukan sebelumnya.” Sehingga dapat dikatakan *Planned maintenance* merupakan jenis perawatan yang sudah dilakukan pencatatan disetiap proses nya, dilakukan perencanaan dan penjadwalan secara terorganisir. Terdapat tiga tipe perawatan didalam *Planned maintenance*, yaitu :

a) *Reactive* atau *Corrective maintenance (repair and breakdown)*

Corrective maintenance merupakan perawatan yang dilakukan saat mesin atau komponen mengalami kondisi kegagalan atau *breakdown*. Perawatan ini mengharuskan teknisi dan operator melakukan hal-hal sebagai berikut :

- 1) Menganalisa kerusakan yang terjadi dan mencari semua penyebabnya dengan mencatat hasil yang terlihat dari kerusakan yang terjadi secara terperinci dan detail.
- 2) Memberikan saran-saran setelah dilakukannya pencatatan dan analisa agar kejadian yang serupa tidak akan terjadi lagi pada mesin atau komponen.

b) *Preventive Maintenance*

Preventive maintenance adalah jenis perawatan perbaikan yang dilakukan sebelum terjadi kegagalan pada mesin atau komponen untuk. Sehingga pemeriksaan merupakan kegiatan yang sangat dibutuhkan untuk merencanakan perawatan atau penjadwalan secara rutin untuk kegiatan selanjutnya agar lebih tepat dan cepat. Langkah-langkah yang dilakukan untuk melakukan *Preventive Maintenance* adalah :

- 1) Membersihkan lingkungan disekitar mesin atau komponen.
- 2) Memeriksa kembali mesin atau komponen setelah digunakan.
- 3) Memberikan pelumas pada mesin atau komponen tertentu yang membutuhkannya.

c) *Predictive maintenance*

Pemeliharaan prediktif meliputi pemantauan terhadap kondisi sistem di masa depan dimana pengambilan keputusan pemeliharaan didasarkan

pada hasil prediksi. Perawatan jenis ini dilakukan pada interval waktu yang didasarkan dari hasil prediksi dan hasil analisa.

2. Perawatan Tak Terencana (*Unplanned Maintenance*)

Perawatan tak terencana adalah bentuk perawatan darurat yang dapat didefinisikan sebagai perawatan yang perlu segera dilakukan untuk mencegah akibat yang lebih serius, seperti hilangnya waktu untuk berproduksi, kerusakan besar pada peralatan dan biaya – biaya perbaikan yang lebih mahal.

2.2.4 Konsep *Downtime*

Pengertian *Downtime* menurut Jr.Patton (1995) diartikan sebagai berhentinya mesin pada saat proses produksi sedang berlangsung sehingga menyebabkan mesin harus segera diperbaiki dengan melibatkan engineering dalam perbaikannya.

Gasper (1992) berpendapat bahwa *downtime* merupakan lama waktu mesin atau komponen tidak dapat menjalankan fungsinya dengan baik. Hal ini dapat terjadi apabila terdapat suatu mesin atau komponen mengalami kegagalan sehingga mengganggu kinerja dan kualitas produksi. Pada dasarnya prinsip yang utama dalam perawatan (*maintenance*) adalah meminimalisasi adanya *downtime*, sehingga pergantian komponen mesin atau suatu sistem sangat penting digunakan untuk menekan laju kerusakan pada batas minimum. Pada penelitian ini difokuskan pada proses pembuatan keputusan penggantian komponen (*replacement*) serta penentuan interval pemeriksaan dengan sistem dengan minimasi *downtime*, sehingga tujuan utama dari manajemen sistem perawatan adalah untuk memperpendek periode kerusakan sampai batas minimum dapat dicapai sebagai bentuk pengoptimalan tindakan *preventive*.

2.2.5 *Reliability Centered Maintenance* (RCM)

Terdapat beberapa definisi *Reliability Centered Maintenance* (RCM) diantara lain adalah:

1. *Reliability Centered Maintenance* menurut Moubrey (1997) adalah sebuah proses untuk menentukan hal apa yang harus dilakukan agar dapat menjamin aset fisik itu tetap dalam keadaan optimal saat berproduksi atau tetap bekerja dengan efektif sesuai yang diharapkan.

2. *Reliability Centered Maintenance* menurut Henley (1981) adalah suatu pendekatan *maintenance* yang mengkolaborasi antara praktek dan strategi dari perawatan pencegahan (PM) dengan perawatan perbaikan (CM) yang terjadwal dengan tujuan untuk mengoptimalkan umur (*life time*) dan fungsi dari suatu komponen ataupun sistem dengan meminimasi biaya.
3. *Reliability Centered Maintenance* menurut Al-Ghamdi (2005) merupakan suatu pendekatan yang efektif untuk pemenuhan strategi-strategi *preventive maintenance* dalam meminimalkan adanya kegagalan dalam sistem atau komponen dan menyediakan alat yang efektif sehingga dapat memenuhi keinginan konsumen dan dapat unggul dalam bersaing.

Menurut Hutabarat (2008) beberapa tujuan dari metode *Reliability Centered Maintenance* adalah sebagai berikut:

1. Sebagai pengembang desain yang bersifat *maintainability* atau mampu dipelihara dengan baik.
2. Untuk *improvement* pada desain awal yang dirasa kurang baik dengan berbagai informasi yang dapat diperoleh dari metode ini.
3. Untuk mengembangkan sistem perawatan yang mampu mengembalikan *reliability* dan *safety* seperti awal mula peralatan dari kemunduran dan penurunan mutu yang terjadi setelah sekian lama dioperasikan.
4. Melakukan semua tujuan diatas dengan biaya yang minimum.

Untuk mengoptimalkan *preventive maintenance*, maka RCM mempunyai berbagai Prinsip – prinsip yaitu sebagai berikut:

1. RCM tidak hanya memelihara suatu alat atau sistem agar dapat beroperasi akan tetapi memelihara agar fungsi dari sistem atau alat tersebut sesuai dengan yang diharapkan.
2. RCM lebih memperhatikan fungsional sistem daripada suatu komponen tunggal, yaitu apabila terjadi kegagalan apakah sistem masih dapat menjalankan fungsi utamanya.
3. RCM berbasiskan *reliability* yaitu kemampuan suatu sistem atau alat dapat berfungsi secara normal saat terus beroperasi sesuai dengan yang diinginkan.
4. RCM bertujuan untuk menjaga reliabilitas agar sesuai dengan kemampuan yang dirancang untuk sistem tersebut.

5. RCM lebih mengutamakan keamanan dan keselamatan (*safety*) daripada masalah ekonomi.
6. RCM mendefinisikan bahwa kegagalan dianggap sebagai kondisi yang tidak dapat memenuhi harapan sehingga tidak memuaskan, sebagai ukurannya adalah berjalannya fungsi sesuai *performance standart* yang ditentukan.
7. RCM harus mampu memberikan output yang nyata dan jelas dan dapat meminimasi tingkat kerusakan akibat kegagalan yang terjadi.

Berdasarkan pendapat Anderson (1990), untuk mengimplementasikan metode RCM dengan baik, dibutuhkan langkah- langkah utama sebagai berikut:

1. *Functional Block Diagram* (FBD)
2. *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA)
3. *Logic Tree Analysis* (LTA)
4. Pemilihan tindakan perawatan (*task selection road map*)

2.2.5.1 Functional Block Diagram (FBD)

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.

2.2.5.2 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) merupakan sebuah metode yang digunakan untuk mengevaluasi desain sistem dengan mengidentifikasi mode kegagalan dari setiap komponen dari sistem dan menganalisis pengaruhnya terhadap *reliability* sistem tersebut Smith& Glen (2004). FMEA merupakan alat yang dapat digunakan untuk menganalisis *reliability* dari sebuah sistem dan penyebab terjadinya kegagalan sehingga dapat mencapai keandalan, keamanan sistem desain beserta proses.

Kegiatan FMEA melibatkan banyak hal seperti menganalisis kegagalan sistem, penyebab terjadinya kegagalan, serta *effect* atau dampak yang terjadi akibat kegagalan pada masing-masing komponen yang dapat dituliskan didalam FMEA *worksheet*. Dari analisis ini didapatkan penentuan komponen kritis yang paling banyak mengalami

kegagalan dan seberapa jauh memberikan pengaruh terhadap fungsi sistem, sehingga kita dapat memberikan perlakuan terhadap komponen kritis dengan melakukan pemeliharaan yang tepat. Berikut ini adalah contoh tabel *Failure Mode and Effect Analysis*.

Tabel 2.1 FMEA

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

Pada tabel diatas pengisian *equipment* diisi dengan komponen dari sebuah sistem, kolom *function* diisi dengan fungsi dari sebuah komponen dalam proses operasi, *functional failure* diisi dengan kegagalan yang terjadi dari sebuah fungsi, *failure mode* berisikan kemungkinan penyebab-penyebab terjadinya kegagalan fungsi, *effect of failure* diisi dengan dampak atau akibat dari sebuah kegagalan. Sedangkan SOD merupakan *Saverity* (S), *occurence* (O) dan *detection* (D). Untuk RPN dapat dihitung menggunakan rumus:

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

Hasil dari RPN menunjukkan tingkat kepentingan dari sebuah komponen yang dianggap mempunyai tingkat resiko tertinggi sehingga memerlukan perlakuan khusus dengan melakukan perbaikan. Berikut ini adalah komponen penyusunun RPN :

1. *Severity*

Severity ini mendefinisikan dampak yang terburuk akibat dari adanya kegagalan. Dampak ini dapat ditentukan berdasarkan tingkat kerusakan alat, tingkat cedera yang dialami oleh pengguna, serta lamanya *downtime* yang terjadi. *Rating severity* dapat dilihat didalam tabel 2.2

Tabel 2.2 Tingkatan *Severity*

Tingkatan Severity Rangking	Akibat (Effect)	Kriteria Verbal	Akibat pada produksi
1	Tidak ada akibat	Tidak mengakibatkan apapun (tidak ada akibat), penyesuaian diperlukan	Proses dalam pengendalian

Tingkatan Severity Rangkaing	Akibat (Effect)	Kriteria Verbal	Akibat pada produksi
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 <i>minor</i>	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 <i>downtime</i> atau tidak ada kehilangan waktu produksi
5	Akibat <i>Moderat</i>	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 <i>downtime</i>
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>
7	Akibat <i>Major</i>	Mesin tetap beroperasi dan dalam keadaan aman, tetapi tidak dapat dijalankan secara penuh. Operator merasa sangat tidak puas	2-4 jam <i>Downtime</i>

Tingkatan Severity Ranging	Akibat (Effect)	Kriteria Verbal	Akibat pada produksi
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. *Occurency*

Occurency merupakan tingkatan seberapa sering komponen mengalami kegagalan. Berikut adalah tabel pengelompokan tingkatan *occurency* dapat dilihat pada tabel 2.3

Tabel 2.3 Tingkatan *Occurency*

Rangking	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
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

Rangking	Kejadian	Kriteria	Tingkat Kejadian Kerusakan
10	Hampir selalu	kerusakan selalu terjadi	kurang dari jam operasi

3. *Detection*

Detection merupakan tingkat pengukuran terhadap kemampuan dalam pengendalian atas kegagalan yang terjadi. Berikut adalah nilai dari *detection*:

Tabel 2.4 Tingkatan *Detection*

Rangking	Akibat	Kriteria Verbal
1	Hampir pasti	Perawatan <i>preventive</i> akan selalu mendekati penyebab potensial atau mekanisme keagalan dan mode keagalan
2	sangat tinggi	perawatan <i>preventive</i> memeiliki kemungkinan sangat tinggi untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme keagalan dan mode keagalan
3	Tinggi	perawatan <i>preventive</i> memeiliki kemungkinan tinggi untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme keagalan dan mode keagalan
4	<i>Moderate highly</i>	Perawatan <i>preventive</i> memiliki kemungkinan moderate highly untuk mendeteksi peyebab pootensial atau mekanisme keagalan dan mode keagalan
5	<i>Moderate</i>	Perawatan <i>preventive</i> memiliki kemungkinan moderate untuk mendeteksi peyebab pootensial atau mekanisme keagalan dan mode keagalan
6	Rendah	Perawatan <i>preventive</i> memiliki kemungkinan rendah untuk mendeteksi peyebab pootensial atau mekanisme keagalan dan mode keagalan
7	Sangat Rendah	Perawatan <i>preventive</i> memiliki kemungkinan sangat rendah untuk mendeteksi peyebab pootensial atau mekanisme keagalan dan mode keagalan
8	Remote	Perawatan <i>preventive</i> memiliki kemungkinan remote untuk mendeteksi peyebab pootensial atau mekanisme keagalan dan mode keagalan

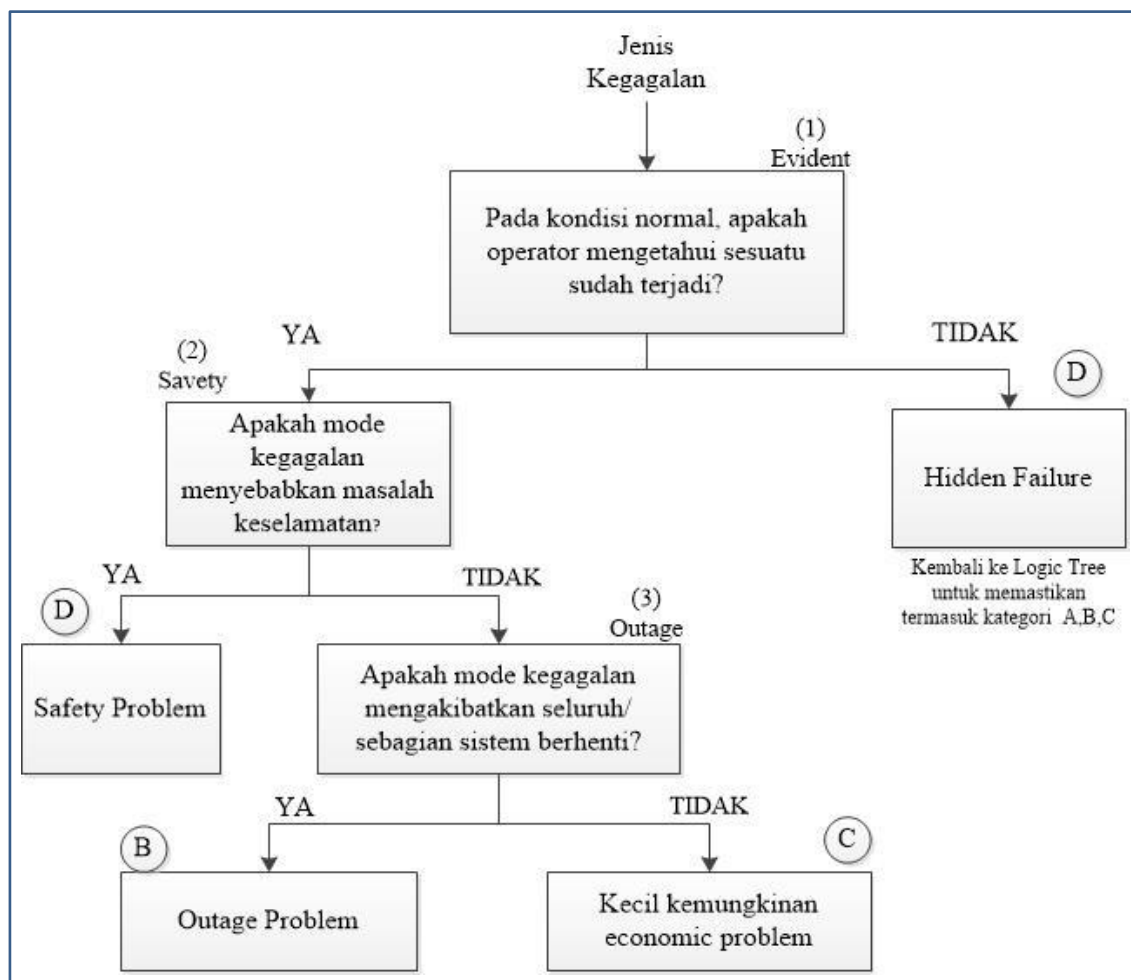
2.2.5.3 *Logic Tree Analysis (LTA)*

Dengan adanya kemungkinan kegagalan-kegagalan yang terjadi maka dibutuhkan proses pencegahan untuk menanggulangi resiko yang akan dihadapi. LTA dapat menunjukkan jenis kegiatan perawatan (*maintenance task*) yang mana yang layak dan optimal yang digunakan untuk mengatasi masing-masing pada *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 mode kegagalan dari suatu komponen dapat menyebabkan sistem kerja komponen terhenti sebagian atau keseluruhan sehingga berpengaruh terhadap 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.



Gambar 2.1 *Strukture Logic Tree Analysis*

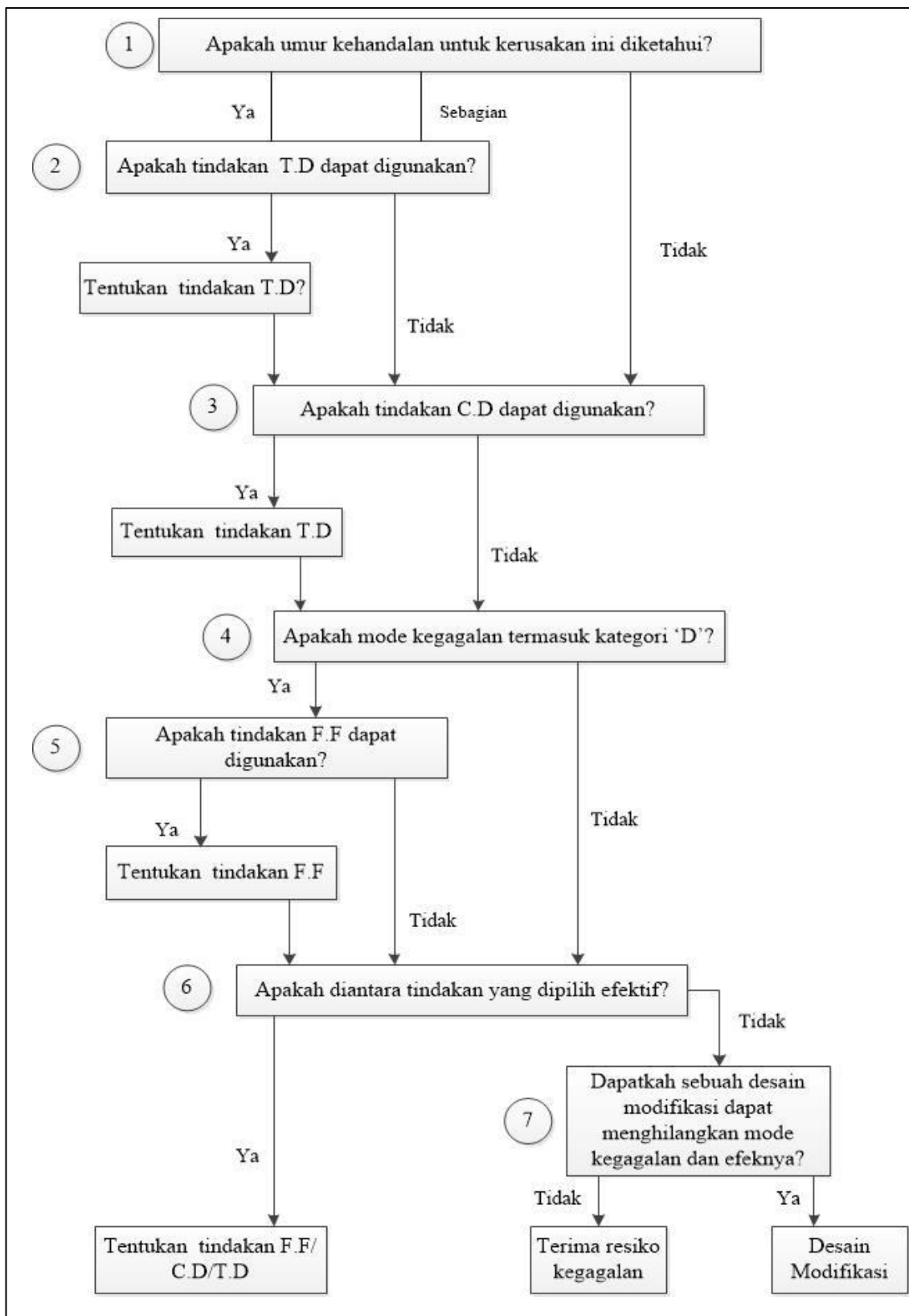
Sumber : Smith & Glenn (2004)

2.2.5.4 Pemilihan Tindakan

Pemilihan tindakan merupakan langkah terakhir dalam metode RCM. Proses ini dilakukan dengan memilih tindakan yang tepat untuk mode kegagalan tertentu. Pada gambar 2.2 dapat dilihat *road map* pemilihan tindakan pada RCM.

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

1. *Time Deredcted* (TD)
Tindakan perawatan yang dilakukan secara langsung terhadap sumber kerusakan dengan didasari umur ataupun waktu dari komponen.
2. *Condition Deredct* (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 2.2 Road Map Pemilihan tindakan

Sumber : Smith & Glenn (2004)

2.2.6 Reliability

Menurut Ebellling (1997) *reliability* adalah probabilitas suatu komponen atau sistem akan beroperasi sesuai dengan fungsi yang ditetapkan dalam jangka waktu tertentu ketika digunakan dalam kondisi operasional tertentu. Keandalan juga berarti kemampuan suatu peralatan untuk bertahan dan tetap beroperasi sampai batas waktu tertentu.

2.2.7 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 :

$$R(t) = 1 - F(t) \quad \text{.....(2.2)}$$

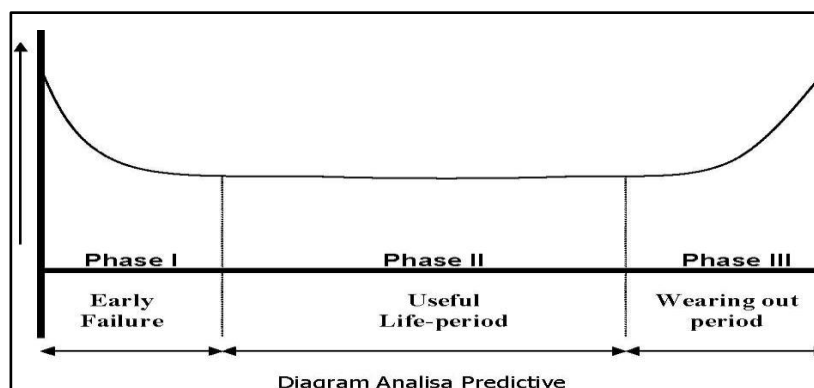
$$R(t) = 1 - \int_0^t f(t)dt \quad \text{.....(2.3)}$$

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.

2.2.8 Laju Kerusakan (Failure Mode)

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 *dynamic 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 2.3 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 *reability* 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:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad \text{.....(2.3)}$$

Persamaan diatas digunakan untuk mesin atau komponen yang masih baru sehingga tingkat kehandalannya diasumsikan pada keadaan $R(t) = 1$.

Sedangkan untuk komponen atau mesin yang sudah tidak baru lagi atau sudah pernah mengalami *maintenance* sebelumnya, persamaan dapat ditulis dengan:

$$R(t) = Me^{-\lambda t} \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

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.

2.2.9 Fungsi Distribusi Kerusakan

Fungsi distribusi ini sangat penting karena berhubungan erat dengan probabilitistik. Dalam penerapan *preventive maintenance*, 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*.

2.2.9.1 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 *weibull* ini, maka didapatkan beberapa fungsi – fungsi, yaitu :

1. Fungsi Keandalan (*Reliability Function*)

$$R(t) = \exp \left[\left(-\frac{t}{\theta} \right)^\beta \right] \quad \dots\dots\dots(2.5)$$

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

$$f(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta} \right)^{\beta-1} \exp \left[\left(-\frac{t}{\theta} \right)^\beta \right] \quad \dots\dots\dots(2.6)$$

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

$$F(t) = 1 - \exp \left[\left(-\frac{t}{\theta} \right)^\beta \right] \quad \dots\dots\dots(2.7)$$

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

$$\lambda t = \frac{F(t)}{R(t)} = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta} \right)^{\beta-1} \quad \dots\dots\dots(2.8)$$

2.2.9.2 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*)

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

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

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

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp \left(-\frac{1}{2} \frac{(t - \mu)^2}{\sigma^2} \right) \text{ untuk } -\infty < t < \infty \text{ dimana } t = \text{waktu} \quad \dots\dots\dots(2.11)$$

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

$$F(t) = \Phi \left(\frac{t - \mu}{\sigma} \right) \quad \dots\dots\dots(2.12)$$

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

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

2.2.9.3 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*)

$$R(t) = 1 - F(t) \quad \dots\dots\dots(2.14)$$

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}}\right) \quad \dots\dots\dots(2.15)$$

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

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{(\ln(t)-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad \text{untuk } -\infty < t < \infty \quad \dots\dots\dots(2.16)$$

atau,

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{1}{2s^2} \ln\left(\frac{t}{t_{med}}\right)^2\right] \quad \dots\dots\dots(2.17)$$

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

$$F(t) = \Phi\left(\frac{\ln(t)-\mu}{\sigma}\right) \quad \dots\dots\dots(2.18)$$

atau

$$F(t) = \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}}\right) \quad \dots\dots\dots(2.19)$$

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

$$\lambda t = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1 - \Phi\left(\frac{\ln(t)-\mu}{\sigma}\right)} \quad \dots\dots\dots(2.20)$$

2.2.9.4 Distribusi Eksponensial

Distribusi eksponensial dapat digunakan dalam mencari selisih mmaupun selang waktu didalam peluang tertentu. Menurut Nahmias (2001) distribusi *Eksponensial* mempunyai laju kerusakan yang bersifat konstan terhadap waktu dengan kata lain probabilitas kerusakan tidak tergantung pada umur komponen atau alat. 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*)

$$R(t) = \exp(-\lambda t) \quad \text{.....(2.21)}$$

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

$$f(t) = \lambda \exp(-\lambda t) \quad \text{.....(2.22)}$$

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

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

$$F(t) = 1 - \lambda \exp(-\lambda t) \quad \text{.....(2.23)}$$

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

$$\lambda t = \frac{f(t)}{R(t)} = \lambda \quad \text{.....(2.24)}$$

2.2.10 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 penggantianannya 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:

- a. Siklus 1 yaitu pencegahan yang diakhiri dengan kegiatan penggantian pencegahan, ditentukan melalui komponen yang telah mencapai umur penggantian sesuai yang telah direncanakan sebelumnya.
- b. 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:

$$D(tp) = \frac{T_p.R(tp) + T_f.(1-R(tp))}{(tp+T_p).R(tp) + (M(tp)+T_f).(1-R(tp))} \quad \text{.....(2.25)}$$

Keterangan Rumus:

t_p = Interval waktu penggantian pencegahan

T_f = Waktu untuk melakukan penggantian kerusakan komponen

T_p = Waktu untuk melakukan penggantian *preventive*

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

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

$$M(t_p) = \frac{MTTF}{1-R(tp)} \quad \text{.....(2.26)}$$

2.2.11 Availability

Availability ini merupakan kesiapan mesin atau komponen dalam menjalankan aktivitas atau beroperasi. *Availability* ini dapat digunakan untuk mengukur tingkat kesuksesan dari perawatan yang dilakukan. Tingkat *availability* berdasarkan interval waktu penggantian pencegahan dan *availability* berdasarkan interval pemeriksaan merupakan dua kejadian yang saling bebas dan tidak saling mempengaruhi, sehingga nilai probabilitas kejadian saling bebas sama dengan hasil perkalian kedua *availability* tersebut. Langkah-langkah dalam perhitungan *availability* berdasarkan Walpole (1986) sebagai berikut:

1. *Availability* berdasarkan frekuensi pemeriksaan:

$$A(n) = 1 - D(n) \quad \text{.....(2.27)}$$

$$D(n) = \frac{k}{\mu.n} + \frac{1}{i} \quad \text{.....(2.28)}$$

2. *Availability* berdasarkan interval penggantian pencegahan:

$$A(tp) = 1 - [\min D(tp)] \quad \text{.....(2.29)}$$

Dimana $D(tp)$ merupakan total *downtime* persiklus.

3. *Availability* total:

$$Availability = A(n) * A(tp) \quad \text{.....(2.29)}$$