

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Terdapat beberapa penelitian sebelumnya mengenai manajemen perawatan seperti yang dilakukan Katerina Trias Puji Pamungkas et al. (2017) melakukan penelitian di perusahaan pembangkit listrik yang dikarenakan terjadinya gangguan terhadap *drainage pump* yang menyebabkan terhambatnya proses produksi listrik yang menyebabkan kerugian bagi perusahaan. Penelitian tersebut menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance II* (RCM II) dan *Hazard Identification Risk Assessment Control* (HIRARC) sehingga menghasilkan dari 8 komponen *drainage pump* terdapat 11 *failure mode*, untuk mengatasi kegagalan tersebut 1 *failure mode* dapat dicegah dengan *scheduled on condition task*, 5 *failure mode* dapat dicegah dengan *schedule restoration task*, dan 5 *failure mode* lainnya dapat dicegah dengan *scheduled discard task*. Terdapat 8 jenis potensi bahaya yang dapat terjadi saat melakukan aktivitas *maintenance* pada *drainage pump*. Penelitian lain yang dilakukan oleh Ariska Andi Kurniawati et al. (2017) di PT. IKSG yang dilatar belakangi oleh kegagalan mesin *Tuber* dan *Bottomer Line-2* sehingga target produksi yang ditetapkan tidak tercapai. Penelitian tersebut menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance II* (RCM II) sehingga menghasilkan 14 *failure mode* yang menyebabkan *functional failure* pada kedua mesin tersebut. Penentuan perencanaan perawatan yang didapatkan yaitu 3 *failure mode* dapat dicegah dengan menggunakan *schedule restoration task* dan 11 *failure mode* dapat dicegah menggunakan *schedule discard task*.

Sedangkan Kurniawan & Mujayin (2015) melakukan penelitian di PT. Prima Mitra Karsa dilatarbelakangi oleh kerugian perusahaan ketika mesin rusak sehingga produksi terhenti. Penelitian tersebut menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance*

(RCM). Dari hasil penelitian tersebut didapatkan tindakan perawatan komponen kritis yang bersifat *condition directed* dan jadwal penggantian optimum komponen kritis yang bersifat *time directed* dan didapatkan potensi penurunan tingkat *downtime* sebesar 47,83%. Sedangkan Susanto & Azwir (2018) melakukan penelitian di PT. Showa Indonesia Manufacturing dikarenakan pada mesin kompresor 4, 8, 10, 5, 16, dan 6 yang memiliki total *downtime* 70,1 % yang menyebabkan terhentinya proses produksi karena mesin kompresor merupakan mesin penting di perusahaan untuk menjalankan proses produksi. Metode yang digunakan untuk membuat perencanaan perawatan adalah *Reliability Centered Maintenance* (RCM) dengan menghasilkan usulan perawatan yang menurunkan total *downtime* menjadi 44,59%.

Dengan menggunakan metode RCM, Wresni & Risvaldi (2016) melakukan penelitian di PT. Riau Garindo yang dilatar belakangi kerusakan pada mesin web yang tercatat selama tahun 2013 mengalami kerusakan sebanyak 291 kali. Penelitian yang dilakukan menghasilkan nilai *reliability* komponen mesin serta usulan penjadwalan penggantian komponen.

Sedangkan Adi Riyanto et al. (2018) melakukan penelitian tentang manajemen perawatan pada mesin ILA-0005 yang dikarenakan *downtime* mesin tersebut besar sehingga mengganggu proses produksi. Dengan menggunakan metode *Reliability Centered Spares* (RCS) dan *Reliability Centered Maintenance* (RCM), penelitian tersebut didapatkan jumlah *spare parts* yang dibutuhkan untuk setiap komponen kritis serta total biaya usulan perbaikan sebesar 47,88 % dari total biaya yang telah ada.

Penelitian lainnya dilakukan oleh Fina Andika Firda Astuti et al. (2016) yang melakukan penelitian mengenai manajemen perawatan dengan objek penelitian pada mesin *stitching* pada perusahaan percetakan buku yang mengalami 42 kali kerusakan pada tahun 2015 sehingga perusahaan tidak mampu memenuhi permintaan. Penelitian ini menggunakan *Mean Time to Failure* (MTTF) dan *Mean Time to Repair* (MTTR) untuk menentukan waktu interval penggantian komponen mesin. Selain itu penelitian tersebut memberikan perhitungan total biaya perawatan yang turun 25,4% dari total biaya perawatan tahun sebelumnya, serta meningkatkan produktivitas sebesar 6,77 ton.

Berbeda dengan penelitian sebelumnya, Sanjaya & Mutmainah (2016) melakukan penelitian mengenai manajemen perawatan di perusahaan roda baja mobil penumpang. Penelitian ini dilatar belakangi oleh mesin *press* 80 ton di lini P3C03 3&4 yang memiliki *downtime* sebesar 19740 menit dalam periode Maret hingga Mei 2016

sehingga menghasilkan *output* terendah dibandingkan dengan mesin lainnya. Penelitian tersebut menggunakan metode OEE, *six big losses*, dan *age replacement*. Hasil dari penelitian tersebut adalah nilai efektivitas mesin sebesar 50,57% dan waktu interval perawatan pada mesin desain *die* (alat cetak) setiap 380 menit dan 1.900 unit.

Beberapa peneliti di atas melakukan penelitian menggunakan *Reliability Centered Maintenance* dalam penelitiannya dan menghasilkan tindakan yang dilakukan untuk meminimasi *downtime* serta menurunkan biaya perawatan seperti penelitian milik Kurniawan & Mujayin (2015); Wresni & Risvaldi (2016); Adi Riyanto et al. (2018); Susanto & Azwir (2018). Kelebihan dari metode RCM dapat digunakan untuk melakukan perawatan pada komponen yang sesuai kebutuhan. Oleh karena itu penelitian ini dilakukan dengan metode RCM dan *age replacement*. Pada penelitian ini terdapat perbedaan dari penelitian sebelumnya dari segi objek penelitian yaitu lini produksi pengentalan susu, sehingga mempertimbangkan kesterilan proses produksi. Selain itu dalam proses engolahan RCM, data yang digunakan adalah data yang diinformasikan oleh *expert* sehingga hasil dari RCM yaitu komponen kritis sama seperti yang ada di perusahaan. Pada tahap FMEA hanya sampai mendapatkan nilai RPN saja tanpa memberikan usulan tindakan korektif dari setiap mode kegagalan. Penelitian ini juga hanya berfokus pada satu komponen kritis sehingga dalam perhitungan interval pemeriksaan dan penggantian hanya menghasilkan waktu interval pemeriksaan komponen kritis dan waktu interval penggantian komponen kritis. Dalam perhitungan waktu interval pemeriksaan dan waktu interval pemeriksaan menggunakan asumsi mesin bekerja terus menerus untuk memudahkan dalam perhitungan.

2.2 Konsep Perawatan

Perawatan dapat didefinisikan sebagai suatu aktivitas yang dilakukan secara berkala dengan tujuan mengidentifikasi serta mengganti peralatan yang rusak agar kembali pada kondisi tertentu dan pada periode tertentu (Ebeling, 1997). Sedangkan menurut Wati (2009), definisi perawatan adalah semua tindakan teknik dan administratif yang dilakukan untuk menjaga agar kondisi mesin/peralatan tetap baik dan dapat melakukan segala fungsinya dengan baik, efisien, dan ekonomis sesuai dengan tingkat keamanan yang tinggi.

2.2.1. Tujuan Perawatan

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

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

2.2.2. Jenis Perawatan

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

- a. *Preventive Maintenance*
Preventive maintenance adalah kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan untuk mencegah timbulnya kerusakan-kerusakan yang tidak terduga dan menemukan kondisi atau keadaan yang dapat menyebabkan fasilitas produksi mengalami kerusakan pada waktu digunakan pada waktu proses produksi.
- b. *Corrective* atau *Breakdown Maintenance*
Corrective atau *Breakdown Maintenance* adalah kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan setelah terjadinya suatu kerusakan atau kelainan pada fasilitas atau peralatan sehingga tidak dapat berfungsi dengan baik. Kegiatan *corrective maintenance* yang dilakukan sering disebut dengan kegiatan perbaikan atau reparasi.

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

- a. Perawatan Terencana (*Planned Maintenance*)

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

Perawatan Pencegahan (*Preventive*)

Pemeliharaan yang dilakukan pada selang waktu yang sudah ditentukan sebelumnya.

Perawatan Perbaikan (*Corrective Maintenance*)

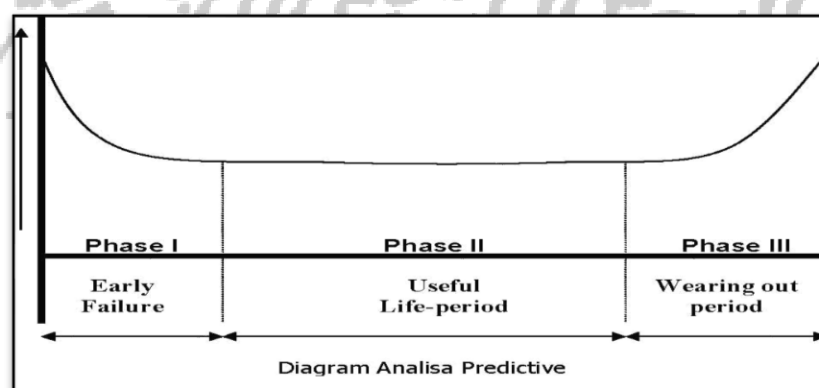
Pemeliharaan yang dilakukan untuk memperbaiki suatu bagian yang berhenti untuk memenuhi suatu kondisi yang bisa diterima.

b. Perawatan Tidak Terencana (*Unplanned Maintenance*)

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

2.3 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 *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 2.1 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 berawalnya 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:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad \dots (2.1)$$

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:

$$R(t) = Me^{-\lambda t} \quad \dots (2.2)$$

Dimana:

$R(t)$ = Nilai Keandalan (%)

M = Nilai Kehandalan 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.

2.4. Keandalan

Perawatan komponen atau peralatan tidak bisa lepas dari pembahasan mengenai keandalan (*reliability*). Selain keandalan merupakan salah satu ukuran keberhasilan sistem peralatan juga keandalan digunakan untuk menentukan penjadwalan perawatan sendiri. Akhir-akhir ini konsep keandalan digunakan juga pada berbagai industri, misalnya dalam penentuan jumlah suku cadang dalam kegiatan keperawatan.

Ukuran keberhasilan suatu tindakan perawatan dapat dinyatakan dalam tingkat keandalan. Secara umum *reliability* dapat didefinisikan sebagai probabilitas suatu system atau produk dapat beroperasi dengan baik tanpa mengalami kerusakan pada suatu kondisi tertentu dan waktu yang telah ditentukan. Berdasarkan definisi *reliability* menjadi empat komponen pokok, yaitu :

1. Probabilitas

Merupakan komponen pokok pertama, merupakan masukan numerik bagi pengkajian *reliability* suatu sistem yang juga merupakan indeks kuantitatif untuk menilai kelayakan suatu system menandakan bahwa *reliability* menyatakan kemungkinan yang bernilai 0-1.

2. Kemampuan yang diharapkan (*satisfactory performance*)

Komponen ini memberikan indikasi yang spesifik bahwa kriteria dalam menentukan tingkat kepuasan harus digambarkan dengan jelas. Untuk setiap unit terdapat suatu standar untuk menentukan apa yang dimaksud dengan kemampuan yang diharapkan.

3. Tujuan yang diinginkan

Tujuan yang diinginkan di mana kegunaan peralatan harus spesifik. Hal ini dikarenakan terdapat beberapa tingkatan dalam memproduksi suatu barang konsumen.

4. Waktu

Waktu merupakan bagian yang dihubungkan dengan tingkat penampilan sistem, sehingga dapat menentukan jadwal dalam fungsi *reliability*. Waktu yang dipakai

adalah MTBF (*Mean Time Between Failure*) dan MTTF (*Mean Time to Failure*) untuk menentukan waktu kritis dalam pengukuran realibility.

5. Kondisi pengoperasian (*specified operating condition*)

Faktor-faktor lingkungan seperti: getaran (*vibration*), kelembaban (*humidity*), lokasi geografis yang merupakan kondisi yang tempat berlangsungnya pengoperasian, merupakan hal yang termasuk ke dalam komponen ini. Faktor-faktor tidak hanya dialamatkan untuk kondisiselama periode waktu tertentu ketika sistem atau produk sedang operasi, tetapi juga ketika sistem atau produk di dalam gudang atau sedang bergerak dari suatu lokasi ke lokasi lain.

2.4.1 Fungsi Keandalan

Menurut pendapat para pakar, reliabilitas adalah probabilitas suatu komponen atau sistem dimana komponen atau sistem tersebut berfungsi secara normal dalam kondisi tertentu dan dalam selang waktu tertentu (Ebeling, 1997). Untuk menghitung keandalan sebuah komponen dari suatu sistem digunakan formula sebagai berikut (Dhillon, 2002):

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

Dengan:

$R(t)$ = keandalan komponen pada saat t

$F(t)$ = fungsi distribusi kumulatif kegagalan komponen

$f(t)$ = fungsi tingkat kegagalan komponen

Keandalan sistem dengan komponen banyak, digunakan formula sebagai berikut:

$$R = R_{CA} \times R_{CB} \times R_{CC} \dots \dots R_{Cz} \quad \dots (2.4)$$

Dengan:

R_{CA} = keandalan (*reliability*) komponen A

R_{CB} = keandalan (*reliability*) komponen B

R_{CC} = keandalan (*reliability*) komponen C

Beberapa parameter utama yang menggambarkan keandalan:

- a. *Mean Time Between Failure* adalah jarak waktu rata-rata antar kegagalan komponen atau sistem yang dapat diperbaiki
- b. *Mean Time to Repair* adalah jarak waktu rata-rata antara kebutuhan perbaikan

- c. *Mean Time to Failure* adalah jarak waktu rata-rata antar kegagalan komponen atau sistem yang harus diganti
- d. *Failure Rate* adalah frekuensi kegagalan suatu komponen atau sistem
- e. *Mean Life to Component* adalah rata-rata usia kegunaan komponen

2.4.2 Perhitungan *Reliability* Sebelum dan Sesudah Dilakukan Tindakan Perawatan Pencegahan

Model keandalan berikut ini mengasumsi sistem kembali ke kondisi baru setelah menjalani perawatan pencegahan. Menurut ebeling(1997) rumus keandalan pada saat t untuk tiap-tiap distribusi sebelum adanya perawatan *preventive* adalah sebagai berikut:

1. Distribusi *Weibull*

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

2. Distribusi Normal

$$R(t) = 1 - \Phi \left(\frac{t - \mu}{\sigma} \right) \quad \dots (2.6)$$

3. Distribusi Lognormal

$$R(t) = 1 - \Phi \left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}} \right) \quad \dots (2.7)$$

4. Distribusi Eksponensial

$$R(t) = \exp (-\lambda t) \quad \dots (2.8)$$

Sedangkan rumus untuk tiap-tiap distribusi setelah tindakan perawatan *preventive* dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Distribusi *Weibull*

$$R(t-nT) = \exp \left[- \left(\frac{t-nT}{\theta} \right)^\beta \right] \quad \dots (2.9)$$

2. Distribusi Normal

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

3. Distribusi Lognormal

$$R(t) = 1 - \Phi \left(\frac{1}{s} \ln \frac{t-nT}{t_{med}} \right) \quad \dots (2.11)$$

4. Distribusi Eksponensial

$$R(t) = \exp (-\lambda(t-nT)) \quad \dots (2.12)$$

2.5. Reliability Centered Maintenance

Reliability Centered Maintenance (RCM) adalah sebuah proses sistematis yang harus dilakukan untuk menjamin seluruh fasilitas fisik yang dapat beroperasi dengan baik sesuai dengan desain dan fungsinya. RCM akan membawa kepada sebuah program *Maintenance* yang fokus pada pencegahan terjadinya jenis kegagalan yang sering terjadi (Taufiq, 2010)

RCM merupakan salah satu metode pemeliharaan yang dapat digolongkan kedalam sistem pemeliharaan terencana (*planned maintenance*). Konsep dasar metode RCM adalah mempertahankan fungsi dari salah satu sistem dengan upaya pemeliharaan yang dilakukan untuk menjaga agar sistem tetap berfungsi dengan baik. Metode RCM ini lebih menitik beratkan pada keselamatan operasinya suatu sistem sehingga dibandingkan dengan sistem pemeliharaan yang ada, RCM merupakan sistem pemeliharaan dengan pendekatan yang sistematis untuk mempertahankan keandalan dari suatu sistem. Penerapan RCM lebih menitik beratkan pada penggunaan analisa kualitatif untuk komponen yang dapat menyebabkan kegagalan suatu sistem. *Tools* yang digunakan untuk melakukan analisa kualitatif adalah *Failure Mode Effect andt Analysis (FMEA)* dan *Logic Tree Analysis (LTA)* (Erly, 2010).

Reliability Centered Maintenance (RCM) adalah sebuah proses sistematis yang harus dilakukan untuk menjamin seluruh fasilitas fisik dapat beroperasi dengan baik sesuai dengan desain dan fungsinya. RCM akan membawa kepada sebuah program *maintenance* yang fokus pada pencegahan terjadinya jenis kegagalan yang sering terjadi.

RCM mempunyai beberapa definisi adalah sebagai berikut (Tahril Aziz et.al., 2009):

1. *Reliability Centered Maintenance* adalah suatu proses yang digunakan untuk menentukan apa yang harus dikerjakan untuk menjamin setiap aset tetap bekerja sesuai yang diinginkan atau suatu proses untuk menentukan perawatan yang efektif.
2. *Reliability Centered Maintenance* adalah suatu pendekatan pemeliharaan yang mengkombinasikan praktik dan strategi dari *preventive maintenance (pm)* dan *corrective maintenance(cm)* untuk memaksimalkan umur (*life time*) dan fungsi aset / sistem / *equipment* dengan biaya minimal (*minimum cost*).

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:

$$RPN = S \cdot O \cdot D \quad \dots (2.13)$$

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 :

a. *Severity*

Severity ini mendefinisikan dampak dari terjadinya 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 <i>Severity</i> Rangkings	Akibat (<i>Effect</i>)	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

Tingkatan Severity Ranging	Akibat (Effect)	Kriteria Verbal	Akibat pada produksi
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 <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 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 Serious	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>

b. Occurency

Occurency merupakan tingkatan frekuensi kegagalan komponen. 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	<i>Remote</i>	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
10	Hampir selalu	Kerusakan selalu terjadi	kurang dari jam operasi

c. *Detection*

Detection merupakan tingkatan kemampuan mengukur 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 kegagalan dan mode kegagalan
2	Sangat tinggi	Perawatan <i>preventive</i> memiliki kemungkinan sangat tinggi untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan

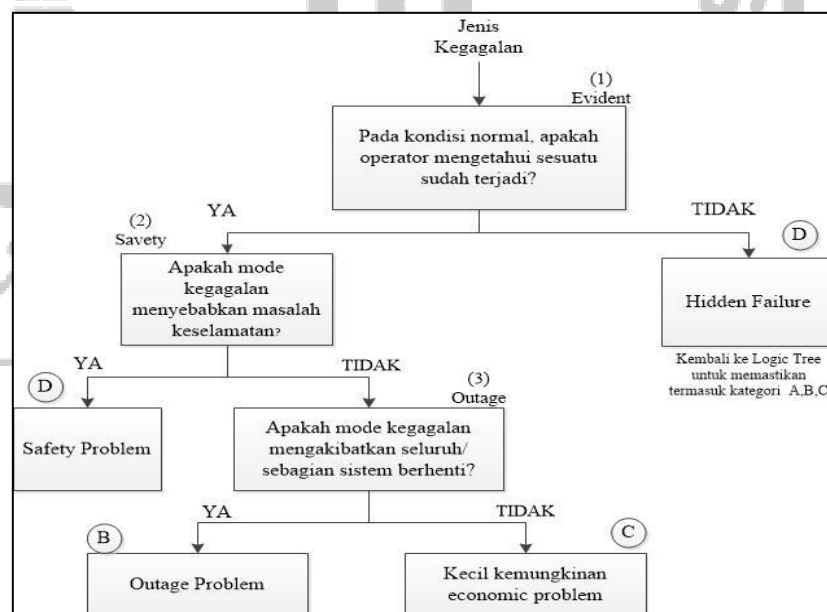
Rangking	Akibat	Kriteria Verbal
3	Tinggi	Perawatan <i>preventive</i> memiliki kemungkinan tinggi untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
4	<i>Moderate highly</i>	Perawatan <i>preventive</i> memiliki kemungkinan moderate highly untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
5	<i>Moderate</i>	Perawatan <i>preventive</i> memiliki kemungkinan moderate untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
6	Rendah	Perawatan <i>preventive</i> memiliki kemungkinan rendah untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
7	Sangat Rendah	Perawatan <i>preventive</i> memiliki kemungkinan sangat rendah untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
8	<i>Remote</i>	Perawatan <i>preventive</i> memiliki kemungkinan remote untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan

2.5.3 Logic Tree Analysis (LTA)

LTA dapat menunjukkan jenis kegiatan perawatan (*maintenance task*) yang mana yang layak dan optimal yang digunakan untuk mengatasi masing-masing pada *Failure Mode*. Tujuan tahap ini adalah memberikan prioritas pada tiap mode kerusakan dan melakukan tinjauan dari fungsi, kegagalan fungsi sehingga status mode kerusakan tidak sama. Proses LTA menggunakan tiga pertanyaan logika yang sederhana atau struktur keputusan untuk mempermudah analisis secara akurat menempatkan setiap mode kerusakan ke dalam satu dari empat kategori. Analisis kekritisitas 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:
- Kategori A (*Safety problem*)**
Yaitu apabila mode kegagalan 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.
 - Kategori B (*Outage problem*)**
Yaitu apabila mode kegagalan mempunyai konsekuensi terhadap *operasional plant* seperti kuantitas, kualitas produk terhadap hasil produksi yang dapat membengkakkan biaya.
 - 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.
 - 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 2.2 Struktur *Logic Tree Analysis*

2.5.4 Pemilihan Tindakan Perawatan (*Task Selection*)

Pemilihan tindakan merupakan tahap terakhir dari proses analisa RCM. Dari tiap mode kerusakan dibuat daftar tindakan yang mungkin untuk dilakukan dan selanjutnya memilih tindakan yang paling efektif. Proses analisa ini akan menentukan tindakan PM yang tepat untuk mode kerusakan tertentu. 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.

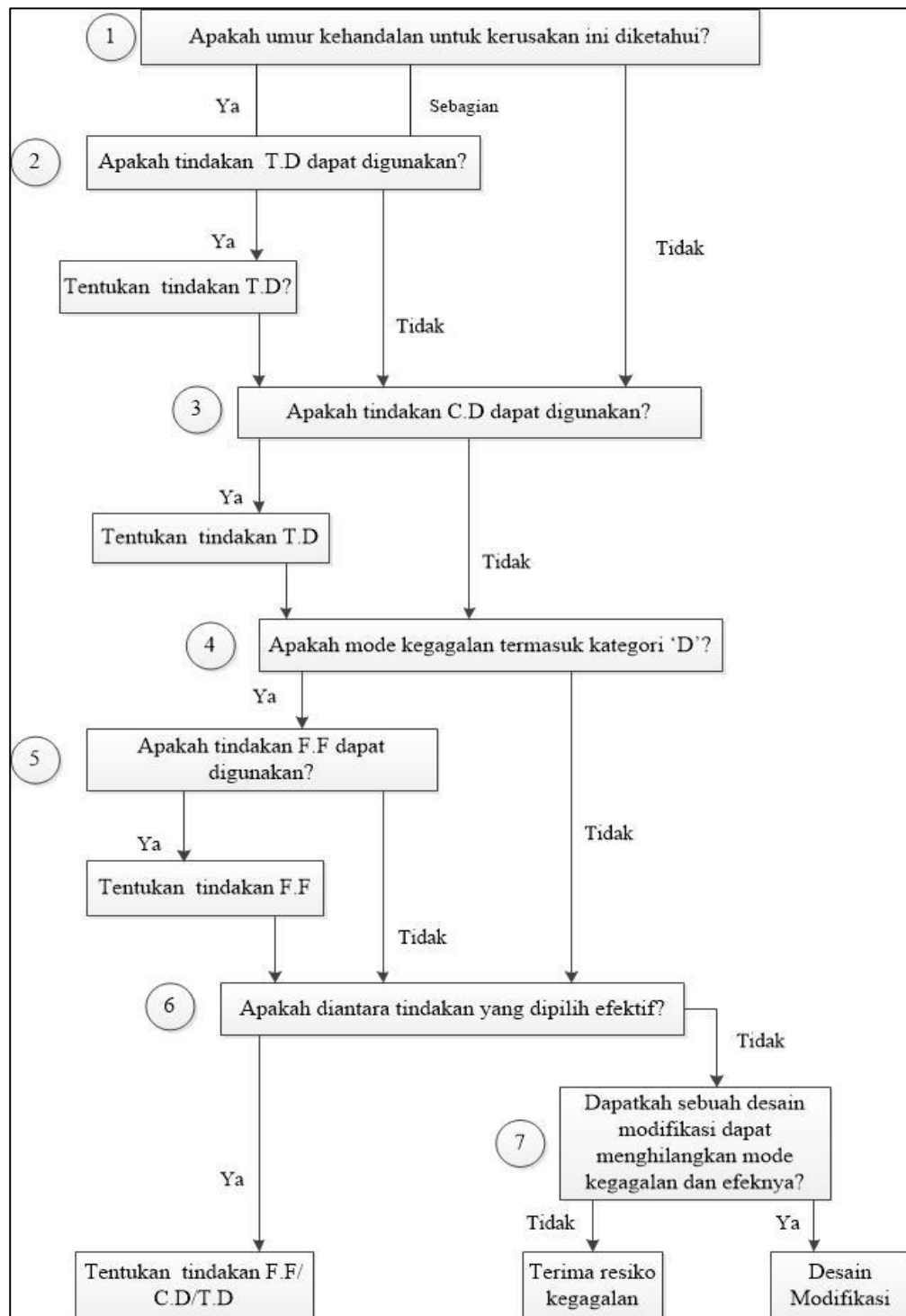
2. *Condition Derect* (CD)

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)

2.6. Fungsi Distribusi Kerusakan

Dalam menghitung keandalan, distribusi statistik digunakan untuk menentukan interval perawatan. Berikut adalah distribusi yang digunakan dalam penelitian ini:

a. Distribusi Eksponensial

Distribusi eksponensial digunakan ketika tingkat kegagalan komponen atau sistem adalah konstan, atau disebut *constant failure rate model*. Pada distribusi ini laju kerusakan konstan terhadap waktu sehingga kegagalan tidak bergantung pada umur komponen atau sistem. Untuk menghitung keandalan pada saat t , digunakan fungsi keandalan sebagai berikut (Ebeling, 1997):

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad \dots (2.14)$$

Dimana $t > 0$ dan $\lambda > 0$

Dengan:

E = bilangan euler

λ = tingkat kegagalan per jam atau siklus untuk menghitung tingkat kegagalan digunakan formula (Ebeling, 1997):

$$\lambda = \frac{1}{MTTF} \quad \dots (2.15)$$

Pada distribusi ini tingkat kegagalan per jam atau siklus ($\lambda(t)$) sama dengan λ .

b. Distribusi Weibull

Distribusi Weibull merupakan distribusi yang banyak digunakan terutama dalam analisis umur suatu objek karena bentuk distribusinya yang bermacam-macam sehingga memungkinkan berbagai bentuk data untuk sesuai dengan distribusi (Narang, 2012). Dalam distribusi Weibull terdapat 2 parameter, yaitu (1) β (beta) yang disebut *shape parameter* yaitu parameter yang menentukan bentuk dari distribusi data dan (2) θ (theta) yang disebut *scale parameter* yang memengaruhi sebaran data. Parameter beta menggambarkan laju kerusakan pada komponen atau sistem. Untuk menghitung keandalan dalam distribusi ini digunakan formula (Ebeling, 1997):

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} \quad \dots (2.16)$$

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

Dengan:

β = parameter bentuk

θ = parameter skala

e = bilangan euler

Perubahan nilai dari parameter bentuk (β) yang menggambarkan laku kerusakan dijelaskan dalam tabel bawah ini (Ebeling, 1997):

Tabel 2.1 Nilai Parameter Bentuk (β) Distribusi *Weibull*

Nilai	Keterangan	Nilai	Keterangan
$0 < \beta < 1$	Laju kerusakan menurun (DFR)	$\beta > 2$	Laju kerusakan meningkat (IFR)
$\beta = 1$	Laju kerusakan konstan (CFR) Distribusi <i>Eksponensial</i>	$3 < \beta < 4$	Kurva berbentuk konveks
			Laju kerusakan meningkat (IFR)
$1 < \beta < 2$	Laju kerusakan meningkat (IFR)		Distribusi normal
	Kurva berbentuk konkaf		
$\beta = 2$	Laju kerusakan <i>linier</i> (LFR)		
	Distribusi rayleigh		

Sedangkan untuk menghitung tingkat kegagalan (*hazard rate*) digunakan formula sebagai berikut (Ebeling, 1997):

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{t-1} \quad \dots (2.17)$$

$$MTTF = \theta r \left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad \dots (2.18)$$

$$r(x) = \int_0^\infty y^{x-1} e^{-y} dy \quad \dots (2.19)$$

c. Distribusi Normal

Distribusi normal cocok digunakan untuk memodelkan fenomena keausan dan *fatigue*. Parameter yang digunakan dalam distribusi normal yaitu μ yaitu rata-rata dan σ^2 yaitu variansi. Distribusi normal juga dapat digunakan untuk menganalisis probabilitas lognormal karena terdapat hubungan dengan distribusi lognormal. Fungsi keandalan pada distribusi ini adalah (Ebeling, 1997):

$$R(t) = 1 - \phi \frac{t-\mu}{\sigma} \quad \dots (2.19)$$

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

Dengan:

μ = rata-rata

σ = variansi

ϕ = fungsi densitas probabilitas

Dengan fungsi densitas probabilitas (Ebeling, 1997):

$$\phi = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{t-\mu}{\sigma} \right)^2 \right] \quad \dots (2.20)$$

d. Distribusi Lognormal

Distribusi lognormal menggunakan 2 parameter yaitu s sebagai parameter bentuk dan t_{med} sebagai parameter lokasi, yang merupakan nilai tengah dari distribusinya. Distribusi ini dapat memiliki berbagai macam bentuk sehingga data yang sesuai dengan distribusi *weibull* biasanya juga sesuai dengan distribusi lognormal. Fungsi keandalan distribusi lognormal adalah (Ebeling, 1997):

$$R(t) = 1 - \phi \left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}} \right) \quad \dots (2.21)$$

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

Dengan:

s = parameter bentuk

t_{med} = parameter lokasi

ϕ = fungsi densitas probabilitas

Dimana fungsi densitas probabilitas (Ebeling, 1997):

$$\phi = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{t-\mu}{\sigma} \right)^2 \right] \quad \dots (2.22)$$

$$MTTF = t_{med} \exp \left(\frac{s^2}{2} \right) \quad \dots (2.23)$$

2.6.1 Penentuan Distribusi Time to Failure Dan Time to Repair

Menurut *Ebeling* (1997, p362), terdapat dua cara untuk mengidentifikasi distribusi yang digunakan dalam mendapatkan lamanya waktu perbaikan untuk waktu kerusakan, yaitu dengan *probability plot* dan *least-square curve fitting*.

Probability plot dibuat dengan membuat grafik data waktu kerusakan maupun waktu perbaikan. Dapat digunakan untuk ukuran sampel yang kecil atau dengan data

yang kurang lengkap. Pada metode *least-square curve fitting*, untuk mengidentifikasi distribusi dari sebuah komponen menggunakan nilai *index of fit* yang terbesar yang akan terpilih. Menurut Walpole (1995) Terdapat metode umum dalam perhitungan metode *least-square curve fitting* yaitu :

- a. Nilai Tengah Kerusakan (*Medium Rank*)

$$F(t_i) = \frac{i-0,3}{n+0,4} \quad \dots (2.24)$$

Dimana: i = data waktu ke i

n = jumlah data kerusakan

- b. *Index of fit*

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - (\sum_{i=1}^n X_i) (\sum_{i=1}^n Y_i)}{\sqrt{n [\sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2]} \sqrt{[\sum_{i=1}^n Y_i^2 - (\sum_{i=1}^n Y_i)^2]}} \quad \dots (2.25)$$

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

- a. Distribusi *Weibull*

$$X_i = \ln(t_i) \quad \dots (2.26)$$

$$Y_i = \ln \left[\ln \left(\frac{1}{1-F(t_i)} \right) \right] \quad \dots (2.27)$$

- b. Distribusi Normal

$$X_i = t_i \quad \dots (2.28)$$

$$Y_i = Z_i = \Phi^{-1} [F(t_i)] = \frac{t_i - \mu}{\sigma} \quad \dots (2.29)$$

Dimana t_i adalah data ke i

Nilai Z_i didapat dari tabel *Standart Normal Probabilities*.

- c. Distribusi Lognormal

$$X_i = \ln(t_i) \quad \dots (2.30)$$

$$Y_i = Z_i = \Phi^{-1} [F(t_i)] = \Phi^{-1} \left[\left(\frac{1}{s} \right) \ln t_i - \left(\frac{1}{s} \right) \ln t_{med} \right] \quad \dots (2.31)$$

Nilai Z_i didapat dari tabel *Standart Normal Probabilities*.

- d. Distribusi Eksponensial

$$X_i = t_i \quad \dots (2.32)$$

$$Y_i = \left[\frac{1}{1-F(t_i)} \right] \quad \dots (2.33)$$

2.6.2 Uji Kecocokan Disteribusi (Uji *Goodness of Fit*)

Uji kecocokan distribusi dimaksudkan untuk memastikan bahwa distribusi data yang telah dipilih benar-benar mewakili data. Uji kecocokan distribusi yang dilakukan adalah uji spesifik *Goodness of Fit* karena uji tersebut memiliki probabilitas yang lebih besar dalam menolak suatu distribusi yang tidak sesuai. *Test* ini adalah uji yang diambil setelah menentukan distribusi awal yang digunakan untuk membandingkan dua hipotesis yang berlawanan, yaitu:

Ho: Data kerusakan atau perbaikan mendekati distribusi tertentu.

H1: Data kerusakan atau perbaikan tidak mendekati distribusi tertentu.

Menurut Ebeling (1997, p393), pengujian untuk masing-masing distribusi berbeda-beda seperti Uji *Bartllet* yang digunakan untuk distribusi Ekspensial, Uji *Kolmogorov-Smirnov* digunakan untuk distribusi Normal dan Lognormal serta Uji *Mann* yang digunakan untuk distribusi *Weibull*.

A. Uji *Bartllet* untuk Pengujian Distribusi Ekspensial

Hipotesis yang digunakan dalam uji *bartllet* adalah:

Ho: Data *time failure* berdistribusi Ekspensial

H1: Data *time failure* tidak berdistribusi Ekspensial

Uji statistiknya:

$$B = \frac{2r[\ln(1/r) \sum_{t=1}^r t_i - (1/r) \sum_{t=1}^r \ln t_i]}{1 + \frac{(r+1)}{6r}} \quad \dots (2.34)$$

Dimana:

r = jumlah kerusakan

t_i = data waktu kerusakan ke-i

B = nilai uji statistik untuk *Bartllet's Test*

Ho diterima apabila nilai B berada didalam wilayah kritis dengan persamaan sebagai berikut:

$$X^2(1-\alpha/2x-1) < B < X^2(\frac{\alpha}{2}x-1) \quad \dots (2.35)$$

B. Uji *Mann's Test* untuk Pengujian Distribusi *Weibull*

Menurut Ebeling (1997), Hipotesis yang digunakan dalam uji *mann* adalah:

Ho: Data *time failure* berdistribusi *Weibull*

H1: Data *time failure* tidak berdistribusi *Weibull*

Uji statistiknya:

$$M = \frac{k_1 \sum [\ln t_{i+1} - \ln t_i] / M_i}{k_2 \sum [\ln t_{i+1} - \ln t_i] / M_i}; \quad \dots (2.36)$$

dengan :

$$k_1 = \left[\frac{r}{2} \right] \quad \dots (2.37)$$

$$k_2 = \left[\frac{r-1}{2} \right] \quad \dots (2.38)$$

$$M_i = Z_{i+1} - Z_i \quad \dots (2.39)$$

$$Z_i = \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{i-0,5}{n+0,25} \right) \right] \quad \dots (2.40)$$

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 $M > F_{crit}$ maka H_1 diterima. Namun sebaliknya apabila $M < F_{crit}$ maka H_1 ditolak. Nilai F_{crit} diperoleh dari tabel distribusi F dengan $v_1 = 2k_1$ dan $v_2 = 2k_2$.

C. Uji *Kolmogorov-Smirnov* test

Menurut Ebeling (1997), Hipotesis yang digunakan untuk uji kolmogorov-Smirnov adalah:

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

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

Tes statistik, $D_n = \max (D_1, D_2)$

Dimana :

$$D_1 = \max \phi \left(\frac{t_i - \mu}{s} \right) - \left(\frac{i-1}{n} \right) \quad \dots (2.41)$$

$$D_2 = \max \left(\frac{i}{n} \right) - \phi \left(\frac{t_i - \mu}{s} \right) \quad \dots (2.42)$$

$$\text{Cumulative Probability } F(t) = \left(\frac{t_i - \mu}{\sigma} \right) \quad \dots (2.43)$$

$$\mu = \left(\frac{\sum_{i=1}^n \ln t_i}{n} \right) \quad \dots (2.44)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (\ln ti - \mu)^2}{n}} \quad \dots (2.45)$$

Dimana:

t_i = *time to failure* ke- i

μ = Rata- rata *time to failure*

s = Standart deviasi

n = Banyaknya data

Bila nilai $D_n < D_{crit}$ maka H_0 diterima, dan apabila sebaliknya nilai $D_n > D_{crit}$ maka H_0 ditolak. Nilai D_{crit} diperoleh dari tabel *critical value for the Kolmogorov-Smirnov test for normality*. Perbedaan pengujian distribusi normal dengan lognormal adalah pada penggunaan t_i apabila lognormal menggunakan nilai $t_i = \ln(t_i)$.

2.6.3 Estimasi Parameter

Estimasi parameter yang digunakan yaitu menggunakan metode *Maximum Likelihood Estimator* (MLE). Menurut Ebeling (1997) masing-masing parameter untuk tiap distribusi adalah sebagai berikut:

a. Distribusi *Weibull*

Parameter untuk distribusi *weibull* adalah β (*shape parameter*) dan θ (*scale parameter*).

$$\beta = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - (\sum_{i=1}^n X_i)(\sum_{i=1}^n Y_i)}{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - n \sum_{i=1}^n (X_i)^2} \quad \dots (2.46)$$

$$\theta = e^{-a/\beta} \quad \dots (2.47)$$

Keterangan:

t_i = data waktu kerusakan ke- i

b. Distribusi Normal

Parameter pada distribusi normal adalah σ dan μ .

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

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \mu)^2}{n}}; \text{ untuk } n > 30 \quad \dots (2.49)$$

dan

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \mu)^2}{n}}; \text{ untuk } n \leq 30 \quad \dots (2.50)$$

Keterangan:

t_i = data waktu kerusakan ke- i

n = banyaknya data kerusakan

μ = nilai tengah

σ = standart deviasi

c. Distribusi Lognormal

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

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n \ln(t_i)}{n} \quad \dots (2.51)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [\ln(t_i) - \mu]^2}{n}} \quad \dots (2.52)$$

$$t_{med} = e^{\mu} \quad \dots (2.53)$$

Keterangan:

t_i = data waktu kerusakan ke- i

n = banyaknya data kerusakan

μ = nilai tengah

s = standart deviasi

d. Distribusi Eksponensial

Parameter yang digunakan untuk distribusi eksponensial adalah λ .

$$\lambda = \frac{n}{T} \quad \dots (2.54)$$

Dimana: n = jumlah kerusakan

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

2.6.4 Mean Time to Failure

Menurut Ebeling (1997, p26), MTTF atau *Mean Time to Failure* adalah nilai rata-rata selang waktu atau interval waktu kerusakan dimana rata-rata ini merupakan waktu ekspektasi terjadinya kerusakan. Menurut Ebeling (1997) perhitungan MTTF dapat dicari menggunakan rumus:

$$MTTF = E(t) = \int_0^{\infty} t f(t) dt \quad \dots (2.55)$$

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = - \frac{dR(t)}{dt} \text{ sehingga;} \quad \dots (2.56)$$

$$MTTF = \int_0^{\infty} - \frac{dR(t)}{dt} t dt \quad \dots (2.57)$$

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad \dots (2.58)$$

Berikut ini merupakan perhitungan MTTF masing-masing distribusi sebagai berikut:

- a. Distribusi *Weibull*

$$MTTF = \theta \cdot \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \quad \dots (2.59)$$

Nilai $\theta \cdot \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right)$ dapat dilihat pada tabel dari fungsi Gamma.

- b. Distribusi Normal

$$MTTF = \mu \quad \dots (2.60)$$

- c. Distribusi Lognormal

$$MTTF = t_{med} \cdot e^{\frac{s^2}{2}} \quad \dots (2.61)$$

- d. Distribusi Eksponensial

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad \dots (2.62)$$

2.6.5 Mean Time to Repair

Menurut Ebeling (1997, p192-193), MTTR atau *Mean Time to Repair* adalah nilai rata-rata yang diharapkan dari lamanya waktu perbaikan. Perhitungan MTTR dapat diperoleh dari rumus:

$$MTTR = \int_0^{\infty} t h(t) dt = \int_0^{\infty} (1 - H(t)) dt \quad \dots (2.63)$$

Keterangan:

(t) = fungsi kepadatan peluang untuk data waktu perbaikan

H(t) = fungsi distribusi komulatif untuk data waktu perbaikan

Perhitungan MTTR untuk tiap distribusi dinyatakan sebagai berikut:

- a. Distribusi *Weibull*

$$MTTR = \theta \cdot \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \quad \dots (2.64)$$

Nilai $\theta \cdot \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right)$ dapat dilihat pada tabel dari fungsi Gamma.

- b. Distribusi Normal

$$MTTR = \mu \quad \dots (2.65)$$

- c. Distribusi Lognormal

$$MTTR = t_{med} \cdot e^{\frac{s^2}{2}} \quad \dots (2.66)$$

- d. Distribusi Eksponensial

$$MTTR = \frac{1}{\lambda} \quad \dots (2.67)$$

2.7. Model 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:

- 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:

$$D(tp) = \frac{Tp.R(tp) + Tf.(1 - R(tp))}{(tp + Tp).R(tp) + (M(tp) + Tf).(1 - R(tp))} \quad \dots (2.68)$$

Keterangan Rumus:

tp = Interval waktu penggantian pencegahan

Tf = Waktu untuk melakukan penggantian kerusakan komponen

Tp = 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 tp yang dapat dicari dengan rumus $M(tp)$:

$$M(t_p) = \frac{MTTF}{1-R(t_p)} \quad \dots (2.69)$$

Selain dilakukan perawatan penggantian pencegahan, interval pemeriksaan yang optimum juga perlu dilakukan agar tidak terlalu sering dan tidak terlalu jarang dilakukan pemeriksaan. Tindakan pemeriksaan sangat dibutuhkan untuk menekan laju kerusakan, menjaga performansi mesin dan meminimasi *downtime* yang terjadi akibat kerusakan dari komponen yang terjadi secara tiba-tiba yang dapat mengakibatkan pembengkakan biaya. Model untuk interval waktu pemeriksaan optimal tersebut dapat dituliskan dengan rumus sebagai berikut (Jardine, hal 108):

$$D(n) = \lambda(n) \cdot T_f + nT_i \quad \dots (2.70)$$

$D(n)$ = *Downtime* yang terjadi karena perbaikan per unit waktu + *downtime* yang terjadi karena pemeriksaan per unit waktu

Dimana:

$$\lambda(n) = \frac{k}{n} \text{ sehingga: } \lambda'(n) = \frac{k}{n^2} \quad \dots (2.71)$$

$$k = \frac{\text{frekuensi jumlah kerusakan}}{\text{periode terjadinya kerusakan}} \quad \dots (2.72)$$

$$T_f = \frac{1}{\mu}; T_i = \frac{1}{i} \quad \dots (2.73)$$

Sehingga;

$$D(n) = \frac{\lambda(n)}{\mu} + \frac{n}{i} \text{ atau } D(n) = \frac{k}{n \cdot \mu} + \frac{n}{i} \quad \dots (2.74)$$

Jika persamaan diatas dideferensialkan akan menjadi:

$$D'(n) = \frac{k}{n^2 \cdot \mu} + \frac{1}{i} = 0 \quad \dots (2.75)$$

Sehingga Frekuensi pemeriksaan:

$$n = \sqrt{\frac{k \cdot i}{\mu}} \quad \dots (2.76)$$

Keterangan:

$\lambda(n)$ = laju kerusakan yang terjadi

k = nilai konstan dari jumlah kerusakan persatuan waktu

T_f = Waktu rata-rata untuk melakukan penggantian

T_i = waktu rata-rata untuk melakukan pemeriksaan

n = frekuensi yang dilakukan per satuan waktu

2.8. 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:

$$A(n) = 1 - D(n) \quad \dots (2.77)$$

$$D(n) = \frac{k}{\mu \cdot n} + \frac{1}{i} \quad \dots (2.78)$$

2. *Availability* berdasarkan interval penggantian pencegahan:

$$A(tp) = 1 - [\min D(tp)] \quad \dots (2.79)$$

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

3. *Availability* total:

$$Availability = A(n) * A(tp) \quad \dots (2.79)$$