

BAB II

LANDASAN TEORI

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai tinjauan pustaka sebagai landasan untuk melakukan penelitian ini.

2.1 Perawatan

2.1.1 Definisi Perawatan

Menurut Assauri (Assauri, 2004), *Maintenance* merupakan kegiatan untuk memelihara atau menjaga fasilitas atau peralatan pabrik dengan mengadakan perbaikan atau penyesuaian atau penggantian yang diperlukan supaya terdapat suatu keadaan operasional produksi yang memuaskan sesuai dengan apa yang direncanakan. Adapun tujuannya adalah untuk mengetahui komponen dan subsistem mesin yang paling rentan mengalami kerusakan (komponen dan subsistem kritis) dan mengetahui penyebab terjadinya kerusakan atau downtime pada tiap subsistem mesin, (Ahmadi & Nur Yulianti Hidayah. , 2017).

Perawatan juga bisa dikatakan sebagai kegiatan yang vital dan mengakibatkan kerugian yang besar apabila tidak pernah dijadualkan bahkan tidak pernah dilakukan. Kegiatan perawatan dilakukan agar produk yang diproduksi bisa diterima oleh konsumen tepat waktu atau tidak banyaknya waktu menganggur yang terjadi karena bahan baku tidak bisa diproses karena kegagalan mesin. Adapun tujuan lain dari kegiatan perawatan adalah sebagai berikut (Assauri, 2004):

1. Kemampuan produksi dapat memenuhi kebutuhan sesuai dengan rencana produksi.
2. Menjaga kualitas pada tingkat yang tepat untuk memenuhi kebutuhan produk itu sendiri dan kegiatan produksi yang tidak terganggu.
3. Untuk membantu mengurangi pemakaian dan penyimpanan yang diluar batas dan menjaga modal yang diinvestasikan dalam perusahaan selama jangka waktu yang ditentukan sesuai dengan kebijaksanaan perusahaan mengenai investasi tersebut.

4. Untuk mencapai tingkat biaya pemeliharaan serendah mungkin, dengan melaksanakan kegiatan maintenance secara efektif dan efisien untuk keseluruhannya.

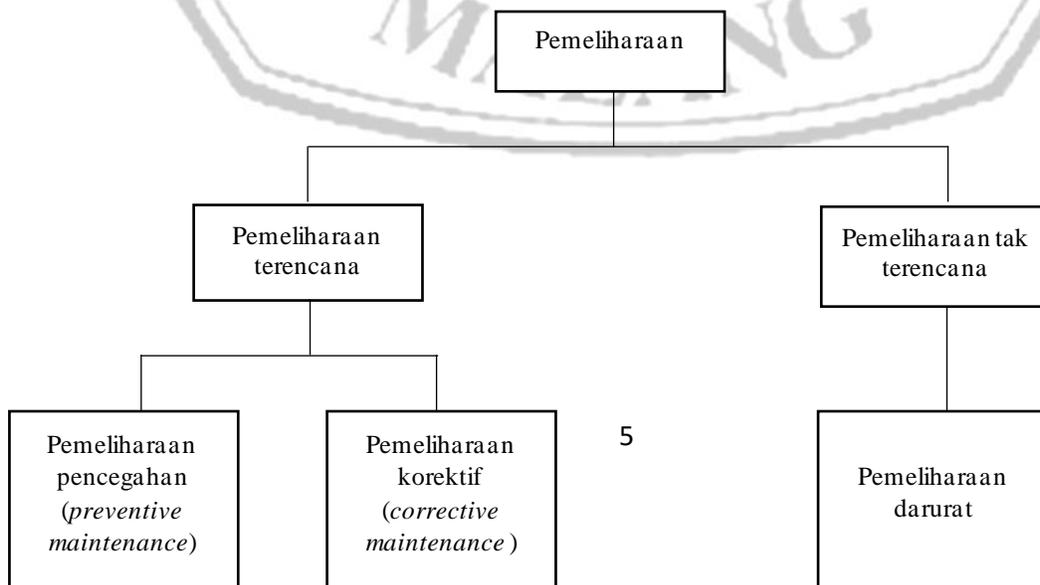
5. Memperhatikan dan menghindari kegiatan – kegiatan operasi mesin serta peralatan yang dapat membahayakan keselamatan kerja. 6. Mengadakan suatu kerjasama yang erat dengan fungsi – fungsi utama lainnya dari suatu perusahaan, dalam rangka untuk mencapai tujuan utama perusahaan yaitu tingkat keuntungan atau return investment yang sebaik mungkin dan total biaya serendah mungkin.

2.1.2 Jenis-jenis perawatan

Menurut Corder (1996), pada gambar 2.1 secara umum bentuk perawatan dibagi menjadi dua antara lain :

a. *Unplanned Maintenance* yaitu pemeliharaan darurat yang didefinisikan sebagai pemeliharaan dimana perlu segera dilaksanakan tindakan untuk mencegah akibat yang serius, misalnya hilangnya produksi, kerusakan besar pada peralatan, atau untuk alasan keselamatan kerja.

b. *Planned Maintenance* yaitu pemeliharaan yang diorganisasi dan dilakukan dengan pemikiran ke masa depan, pengendalian dan pencatatan sesuai dengan rencana yang telah ditentukan segalanya.



Sumber : *Corder (1996)*

Gambar 2.1 Diagram alir dari pembagian pemeliharaan

2.1.3 Tujuan Perawatan

Menurut *Corder, A (1996)* tujuan pemeliharaan dapat didefinisikan dengan jelas sebagai berikut :

1. Untuk memperpanjang kegunaan usia asset (setiap bagian dari suatu tempat kerja, bangunan dan isinya)
2. Menjamin ketersediaan optimum peralatan yang dipasang untuk produksi dan mendapatkan laba investasi maksimum yang mungkin.
3. Untuk menjamin kesiapan operasional dari seluruh peralatan yang diperlukan dalam keadaan darurat setiap waktu, misalnya unit cadangan, unit pemadam kebakaran dan dan penyelamat dan sebagainya.
4. Menjamin keselamatan orang yang menggunakan sarana tersebut.

2.1.4 Fungsi Perawatan

Fungsi perawatan adalah agar dapat memperpanjang umur ekonomis dari mesin dan peralatan produksi yang ada serta mengusahakan agar mesin dan peralatan produksi tersebut selalu dalam keadaan optimal dan siap pakai untuk pelaksanaan proses produksi.

2.1.5 Diagram Pareto

Menurut *Vincent Gaspersz (Gaspersz, 2002)* diagram pareto adalah grafik batang yang menunjukkan masalah berdasarkan urutan banyaknya kejadian. Masalah yang paling banyak

terjadi ditunjukkan oleh grafik batang pertama yang tertinggi serta ditempatkan pada sisi paling kiri, dan seterusnya sampai masalah yang paling sedikit terjadi ditunjukkan oleh grafik batang terakhir yang terendah serta ditempatkan pada sisi paling kanan.

Pada dasarnya diagram pareto dapat dipergunakan sebagai alat interpretasi untuk:

1. Menentukan frekuensi relatif dan urutan pentingnya masalah-masalah atau penyebab-penyebab yang ada
2. Memfokuskan perhatian pada isu-isu kritis dan penting melalui membuat ranking terhadap masalah-masalah atau penyebab-penyebab dari masalah itu dalam bentuk yang signifikan

2.2 Reliability Centered Maintenance (RCM)

Reliability Centered Maintenance (RCM) merupakan proses teknik logika untuk menentukan tugas-tugas pemeliharaan yang akan menjamin sebuah perancangan system keandalan dengan kondisi pengoperasian yang spesifik pada sebuah lingkungan pengoperasian yang khusus. *Reliability centered Maintenance* (RCM) adalah suatu proses yang digunakan untuk menentukan apa yang harus dilakukan untuk menjamin agar asset fisik dapat kontinyu dalam memenuhi fungsi yang diharapkan dalam konteks operasinya saat ini (Pranoto,2015).

(Kurniawan, 2013) *Reliability Centered Maintenance* (RCM) merupakan suatu metode perawatan yang memanfaatkan informasi yang berkenaan dengan keandalan suatu fasilitas, untuk memperoleh strategi perawatan yang efektif dan efisien. Melalui penggunaan RCM, dapat diperoleh informasi apa saja yang harus dilakukan untuk menjamin mesin/peralatan dapat terus beroperasi dengan baik. Selain itu *Reliability Centered Maintenance* (RCM) adalah pendekatan yang efektif untuk pengembangan program-program PM (*Preventive Maintenance*) dalam meminimalkan kegagalan peralatan dan menyediakan plant di industri dengan alat-alat yang efektif dan kapasitas optimal untuk memenuhi permintaan pelanggan dan unggul dalam persaingan.

Penelitian tentang RCM ini memerlukan 7 pertanyaan mengenai item atau peralatan yang dilakukan dalam pengamatan (Moubray, 1997). Tujuh pertanyaan tersebut adalah sebagai berikut :

1. Apakah fungsi dan hubungan performansi standar dari item dalam konteks pada saat ini? (*system function*)
2. Bagaimana item/peralatan tersebut rusak dalam menjalankan fungsinya? (*functional failure*)
3. Apa yang menyebabkan terjadinya kegagalan fungsi tersebut? (*failure mode*)
4. Apakah yang terjadi pada saat terjadi kerusakan? (*failure effect*)
5. Bagaimana masing – masing kerusakan tersebut terjadi? (*failure consequence*)
6. Apakah yang dapat dilakukan untuk memprediksi atau mencegah masing-masing kegagalan tersebut? (*proactive task and task interval*)
7. Apakah yang harus dilakukan apabila kegiatan proaktif yang sesuai tak berhasil ditemukan? (*default action*)

Realibility Centered Maintenance lebih menitikberatkan pada penggunaan analisa kualitatif ada komponen yang dapat menyebabkan kegagalan pada suatu sistem. Ketujuh pertanyaan diatas dituangkan dalam bentuk *failure mode effect analysis* (FMEA) dan RCM *decision worksheet*.

Keunggulan yang dimiliki oleh metode *Realibility Centered Maintenance* adalah sebagai berikut (Moubray, 1997):

1. Teknik manajemen perawatan yang mengkombinasikan dua jenis tindakan yaitu *preventive maintenance* dan *predictive maintenance*. *Preventive maintenance* merupakan suatu kegiatan pemeriksaan secara periodik terhadap aset dan peralatan dengan tujuan untuk mengetahui kondisi yang menyebabkan kerusakan dengan jalan memperbaiki atau menyetelnya sebelum terjadi

kerusakan. Sedangkan *predictive maintenance* merupakan pemeliharaan yang berdasar pada pengukuran kondisi suatu peralatan agar apabila peralatan tersebut gagal di masa yang akan datang telah diambil suatu tindakan untuk menghindari kegagalan tersebut. Pengertian tersebut dapat juga diartikan pemeliharaan berdasarkan penilaian atau analisis kondisi dari komponen-komponen mesin secara keseluruhan.

2. Menggabungkan analisa kualitatif dan kuantitatif dalam merencanakan aktivitas pemeliharaan.
3. RCM merupakan hasil pengembangan dari RCM sebelumnya, modifikasi yang dilakukan pada bagian *decision diagram* RCM yang mempertimbangkan *safety* dan *environmental consequences*.

2.2.1 Failure Mode And Effect Analysis (FMEA)

Menurut (Ansori & Mustajib, 2013) FMEA merupakan suatu metode yang bertujuan mengevaluasi desain sistem dengan mempertimbangkan bermacam-macam metode kegagalan, sistem yang terdiri dari komponen dan menganalisis pengaruh terhadap keandalan sistem tersebut. Dengan penelusuran pengaruh kegagalan komponen sesuai dengan level sistem, item-item khusus yang kritis dapat dinilai dan tindakan perbaikan perlu dilakukan untuk memperbaiki desain dan mengeliminasi atau mereduksi probabilitas dari mode-mode kegagalan yang kritis.

Dari analisis ini maka dapat disimpulkan kita dapat mengetahui komponen apa saja yang kritis dan sering terjadi kerusakan pada komponen, jika terjadi kerusakan maka sejauh mana pengaruhnya terhadap suatu fungsi sistem secara keseluruhan, sehingga dapat memberikan perilaku lebih terhadap komponen tersebut dengan tindakan pemeliharaan yang tepat.

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

kegagalan sebelum terjadi (detection). RPN dapat ditunjukkan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\text{RPN} = \text{Severity} * \text{Occurrence} * \text{Detection}$$

Hasil dari RPN menunjukkan tingkatan prioritas peralatan yang dianggap beresiko tinggi, sebagai penunjuk ke arah tindakan perbaikan. Ada tiga komponen yang membentuk nilai RPN tersebut. Ketiga komponen tersebut adalah:

1. Severity

Merangkingkan *severity* yakni mengidentifikasi dampak potensial yang terburuk yang diakibatkan oleh suatu kegagalan. *Severity* adalah tingkat keparahan atau efek yang ditimbulkan oleh mode kegagalan terhadap keseluruhan mesin. Nilai *rating Severity* antara 1 sampai 10. Nilai 10 diberikan jika kegagalan yang terjadi memiliki dampak yang sangat besar terhadap sistem. Tingkatan efek ini dapat dikelompokkan menjadi beberapa tingkatan seperti pada tabel 2.1. berikut ini.

Tabel 2.1 Tingkatan severity

| Rating | Criteria of severity effect |
|---------------|--|
| 10 | Tidak berfungsi sama sekali |
| 9 | Kehilangan fungsi utama dan menimbulkan peringatan |
| 8 | Kehilangan fungsi utama |
| 7 | Pengurangan fungsi utama |
| 6 | Kehilangan kenyamanan fungsi penggunaan |
| 5 | Mengurangi kenyamanan fungsi penggunaan |
| 4 | Perubahan fungsi dan banyak pekerja menyadari adanya masalah |
| 3 | Tidak terdapat efek dan pekerja menyadari adanya masalah |
| 2 | Tidak terdapat efek dan pekerja tidak menyadari adanya masalah |
| 1 | Tidak ada efek |

(Sumber: Harpc Systems)

2. Occurrence

Occurrence adalah tingkat keseringan terjadinya kerusakan atau kegagalan. *Occurrence* berhubungan dengan estimasi jumlah kegagalan kumulatif yang muncul akibat suatu penyebab tertentu pada mesin. Nilai rating *Occurrence* antara 1 sampai 10. Nilai 10 diberikan jika kegagalan yang terjadi memiliki nilai kumulatif yang tinggi atau sangat sering terjadi. Tingkatan frekuensi terjadinya kegagalan (*occurrence*) dapat dilihat pada tabel 2.2. berikut ini.

Tabel 2.2. Tingkatan *Occurrence*

| Rating | <i>Probability of occurrence</i> |
|---------------|---|
| 10 | Lebih besar dari 50 per 7200 jam penggunaan |
| 9 | 35-50 per 7200 jam penggunaan |
| 8 | 31-35 per 7200 jam penggunaan |
| 7 | 26-30 per 7200 jam penggunaan |
| 6 | 21-25 per 7200 jam penggunaan |
| 5 | 15-20 per 7200 jam penggunaan |
| 4 | 11-15 per 7200 jam penggunaan |
| 3 | 5-10 per 7200 jam penggunaan |
| 2 | Lebih kecil dari 5 per 7200 jam penggunaan |
| 1 | Tidak pernah sama sekali |

(Sumber: Harpeco Systems)

3. Detection

Detection adalah pengukuran terhadap kemampuan mengendalikan atau mengontrol kegagalan yang dapat terjadi. Nilai *detection* dapat dilihat pada tabel 2.3. berikut ini.

Tabel 2.3. Tingkatan *Detection*

| Rating | <i>Detection design control</i> |
|---------------|---|
| 10 | Tidak mampu terdeteksi |
| 9 | Kesempatan yang sangat rendah dan sangat sulit untuk terdeteksi |
| 8 | Kesempatan yang sangat rendah dan sulit untuk terdeteksi |
| 7 | Kesempatan yang sangat rendah untuk terdeteksi |

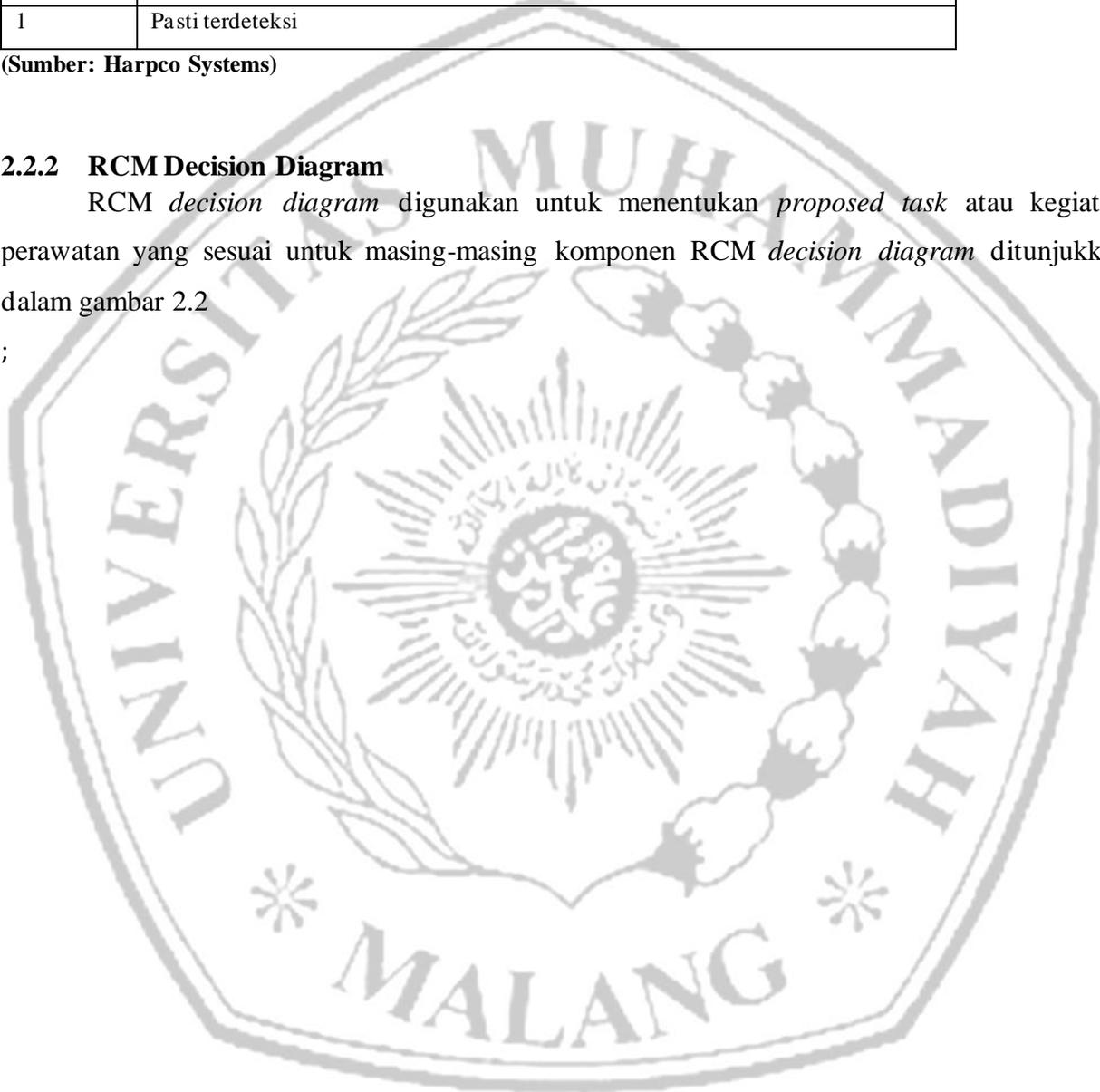
| | |
|---|--|
| 6 | Kesempatan yang rendah untuk terdeteksi |
| 5 | Kesempatan yang sedang untuk terdeteksi |
| 4 | Kesempatan yang cukup tinggi untuk terdeteksi |
| 3 | Kesempatan yang tinggi untuk terdeteksi |
| 2 | Kesempatan yang sangat tinggi untuk terdeteksi |
| 1 | Pasti terdeteksi |

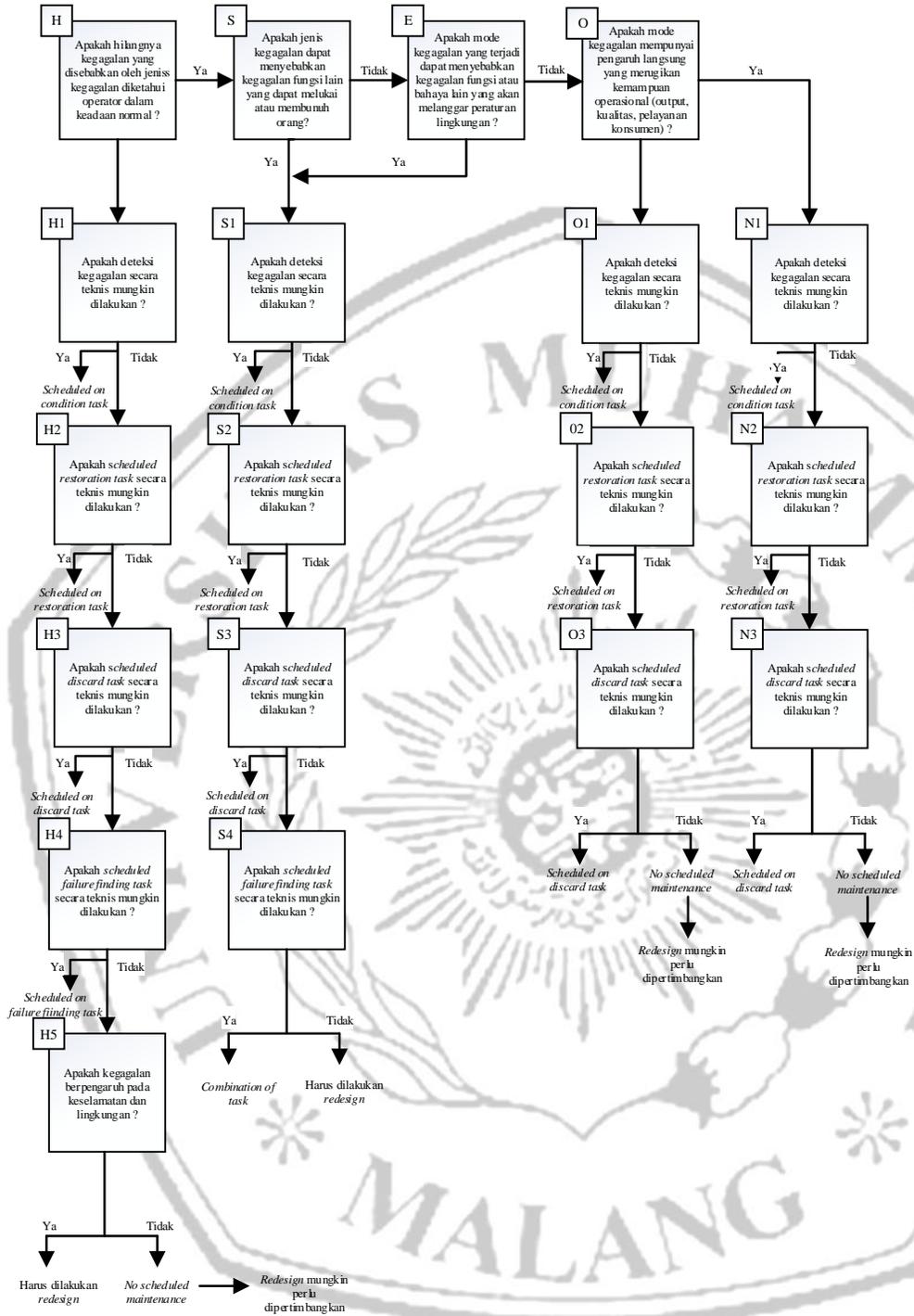
(Sumber: Harpco Systems)

2.2.2 RCM Decision Diagram

RCM *decision diagram* digunakan untuk menentukan *proposed task* atau kegiatan perawatan yang sesuai untuk masing-masing komponen RCM *decision diagram* ditunjukkan dalam gambar 2.2

;





sumber: Moubray, (1997)

Gambar 2.2 RCM decision worksheet

2.2.3 RCM Decision Worksheet

RCM *decision worksheet* merupakan dokumen lembar kerja dalam pengerjaan RCM. Pranoto (2015) menggunakan *worksheet* ini untuk mencatat jawaban terhadap pertanyaan-pertanyaan dalam decision diagram sebagai berikut:

- a. Kebiasaan apa yang dilakukan untuk perawatan (jika ada), seberapa rutin itu dilaksanakan dan oleh siapa.
- b. Kegagalan-kegagalan apa yang cukup serius untuk menjamin desain ulang.
- c. Kasus-kasus dimana keputusan sengaja diambil untuk membiarkan kegagalan terjadi. RCM *decision worksheet* digambarkan pada tabel 2.4

Tabel 2.4 RCM *decision worksheet*

| <i>RCM II Decision Worksheet</i> | | | | | Sistem: | | | | | Date: | Sheet: | | | | | | | |
|----------------------------------|------------------|---|----|----|--------------------------------|---|---|---|-----------------------|-------|--------|----------------------|------------------------|-----------------------|----|----|----|----|
| | | | | | Sub sistem: | | | | | | No: | | | | | | | |
| | | | | | Fungsi sub sistem: | | | | | | Of: | | | | | | | |
| <i>Information Reference</i> | | | | | <i>Consequences Evaluation</i> | | | | <i>Default Action</i> | | | <i>Proposed Task</i> | <i>Intial Interval</i> | <i>Can be done by</i> | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | H1 | H2 | H3 | S1 |
| No | <i>Equipment</i> | F | FF | FM | H | S | E | O | O1 | O2 | O3 | H4 | H5 | S4 | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

(sumber: Pranoto, 2015)

Kolom-kolom RCM decision worksheet yang dijelaskan pada tabel 2.4 dapat dibagi sebagai berikut:

1. *Information Reference*

Information Reference merupakan informasi yang diperoleh dari FMEA/RCM II *decision worksheet*, yaitu dengan memasukkan informasi mengenai *function*, *failure function*, *failure mode* dari peralatan/komponen.

Tabel 2.5 Information Reference

| <i>Failure Consequences</i> | Keterangan |
|--------------------------------------|---|
| Kolom F (<i>Function</i>) | Fungsi dari komponen atau item yang diharapkan oleh <i>user</i> tetap berada dalam level kemampuan dari item tersebut sejak awal dibuat |
| Kolom FF (<i>Function Failure</i>) | Kegagalan dari suatu item untuk melaksanakan <i>system function</i> yang diharapkan |
| Kolom FM (<i>Function Mode</i>) | Jenis kerusakan yang terjadi pada komponen sehingga menyebabkan komponen gagal beroperasi atau mengalami gangguan saat beroperasi. |
| Kolom FM (<i>Function Mode</i>) | Jenis kerusakan yang terjadi pada komponen sehingga menyebabkan komponen gagal beroperasi atau mengalami gangguan saat beroperasi. |

2. *Consequence Reference*

Merupakan konsekuensi yang ditimbulkan karena terjadinya kegagalan fungsi. Dampak yang terjadi bisa dilihat dari berbagai macam sudut pandang seperti dampak ke lingkungan ataupun

dampak kerugian dari sisi ekonomi. Dalam RCM *consequence reference* diklasifikasikan dalam 4 bagian (Moubray, 1997) yaitu:

a. *Hidden failure consequence*

Konsekuensi kegagalan yang terjadi tidak dapat dibuktikan secara langsung sesaat setelah kegagalan berlangsung, tetapi akan menyebabkan kegagalan yang secara serius.

b. *Safety consequence* apabila kegagalan fungsi yang mempunyai konsekuensi terhadap keselamatan pekerja atau manusia lainnya.

c. *Environmental consequence* terjadi apabila kegagalan fungsi berdampak pada kelestarian lingkungan.

d. *Operational consequence* adalah konsekuensi kegagalan yang dapat berakibat pada produksi (output, kualitas produk, dan biaya operasional)

e. *Non-operational consequence* adalah kegagalan yang bukan tergolong dalam konsekuensi keselamatan ataupun produksi tetapi mengakibatkan konsekuensi yang berdampak langsung pada biaya perbaikan.

Tabel 2.6 Consequence Reference

| <i>Failure Consequences</i> | Keterangan | |
|---|---|--|
| | Yes | No |
| Kolom H <i>(Hidden Failure)</i> | | <i>Failure mode</i> tidak diketahui secara langsung oleh operator dalam kondisi normal |
| Kolom S (Safety) | <i>Failure mode</i> berdampak pada keselamatan kerja operator | <i>Failure mode</i> tidak berdampak pada keselamatan operator kerja |

| | | |
|------------------------------------|---|---|
| Kolom E (Environmental) | <i>Failure mode</i> berdampak pada keselamatan/kelestarian lingkungan | <i>Failure mode</i> tidak berdampak pada keselamatan/kelestarian lingkungan |
| Kolom O (Operational) | <i>Failure mode</i> berdampak pada <i>output</i> produksi | <i>Failure mode</i> tidak berdampak pada <i>output</i> produksi |

(sumber: Moubray, 1997)

3. *Proactive task*

Tindakan *proactive task* merupakan tindakan yang dilakukan sebelum terjadi kegagalan, untuk mencegah obyek ataupun komponen memasuki kondisi yang dapat menyebabkan kegagalan (*failed state*). Aktivitas pencegahan tersebut adalah *predictive maintenance* dan *preventive maintenance*. Dalam RCM *predictive maintenance* dimasukkan dalam *scheduled on condition task* sedangkan *preventive maintenance* dimasukkan ke dalam *scheduled restoration task* ataupun *scheduled discard task* (Moubray, 1997).

1. *Scheduled restoration task*

Merupakan suatu tindakan pemulihan kemampuan item pada saat atau sebelum batas umur yang ditetapkan, tanpa memperhatikan kondisi saat itu. Karakteristiknya adalah sebagai berikut:

- Dapat didefinisikan umur dimana item tersebut menunjukkan kemungkinan penambahan kecepatan terjadinya kondisi kegagalan.
- Mayoritas dari item dapat bertahan pada umur tersebut (untuk semua item jika kegagalan memiliki konsekuensi terhadap keselamatan lingkungan).
- Memperbarui dengan sub item yang tahan terhadap kegagalan tersebut.

2. *Scheduled discard task*

Adalah tindakan mengganti item pada saat atau sebelum batas umur yang ditetapkan, tanpa memperhatikan kondisi saat itu. Tindakan ini secara teknik mungkin dilakukan dalam kondisi berikut:

- Dapat diidentifikasi umur dimana item tersebut menunjukkan kemungkinan penambahan kecepatan terjadinya kondisi kegagalan.

b. Mayoritas dari item dapat bertahan pada umur tersebut (untuk semua item jika kegagalan memiliki konsekuensi terhadap keselamatan lingkungan).

3. *Scheduled on condition task*

Adalah kegiatan pemeriksaann terhadap potential *failure* sehingga tindakan dapat diambil untuk mencegah terjadinya functional failure. *Potential failure* didefinisikan dengan sebuah kondisi yang dapat mengindikasikan sedang terjadi kegagalan fungsi (*functional failure*). Empat kategori utama menurut (Moubray, 1997) antara lain:

- a. *Condition monitoring techniques* yang melibatkan penggunaan peralatan khusus untuk melakukan monitor terhadap kondisi peralatan lain.
- b. *Statistical process control* yaitu proses pencegahan yang didasarkan atas variasi kualitas produk yang dihasilkan.
- c. *Primary effect monitoring techniques* yang melibatkan peralatan seperti gauge yang ada dan peralatan untuk proses monitoring.
- d. Teknik inspeksi berdasarkan *human sense*.

4. *Default action*

Tindakan ini dilakukan ketika *predictive task* yang efektif tidak mungkin dapat dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan (Moubray, 1997). Tindakan ini dipilih bila mungkin untuk mengidentifikasi tugas proaktif tidak efektif. *Default action* meliputi:

1. *Schedule failed finding* meliputi tindakan pemeriksaan secara periodik terhadap fungsi-fungsi yang tersembunyi untuk mengetahui apakah item atau asset tersebut telah rusak atau tidak.
2. *Redesign* yaitu membuat suatu perubahan untuk membangun kembali kemampuan suatu sistem. Hal ini mencakup modifikasi terhadap perangkat keras dan juga perubahan prosedur.
3. *Run to failure* membiarkan item beroperasi sampai terjadi *failure* karena secara *functional* tindakan pencegahan yang dilakukan tidak menguntungkan.

Apabila aktivitas *proactive task and default action* tidak dapat mengatasi atau mengantisipasi kegagalan yang terjadi maka aktivitas perawatan digolongkan dalam *no scheduled maintenance* dimana tindakan redesign terhadap peralatan perlu dipertimbangkan untuk mencegah terjadinya kegagalan. *Proactive task and Default Action* dapat dilihat pada tabel 2.7

Tabel 2.7 *Default action*

| <i>Proactive Task</i> | Persyaratan Kondisi |
|---|--|
| Kolom H1/S1/O1/N1 | <p>Apakah <i>potential failure</i> (PF interval) dapat diketahui secara pasti dalam kondisi normal?</p> <p>Apakah dalam interval waktu tersebut cukup untuk melakukan tindakan pencegahan?</p> |
| Kolom H2/S2/O2/N2 | <p>Dapat diidentifikasi umur dimana item tersebut menunjukkan kemungkinan penambahan kecepatan terjadinya kondisi kegagalan.</p> <p>Mayoritas dari item dapat bertahan pada semua umur tersebut (untuk semua item) jika kegagalan memiliki konsekuensi terhadap keselamatan lingkungan.</p> <p>Memperbaiki dengan sub sistem yang tahan terhadap kegagalan tersebut.</p> |
| Kolom H3/S3/O3/N3 | <p>Dapat diidentifikasi umur dimana item tersebut menunjukkan kemungkinan penambahan kecepatan terjadinya kondisi kegagalan. Mayoritas dari item dapat bertahan pada umur tersebut (untuk semua item) jika kegagalan memiliki konsekuensi terhadap keselamatan lingkungan.</p> |
| Kolom H4 <i>Scheduled Failure Finding Task</i> | <p><i>Hidden failure</i> dapat dicegah bila <i>failure mode</i> dapat dideteksi secara teknis.</p> |

| | |
|-------------------------------------|---|
| Kolom H5 <i>Redesign</i> | <i>Hidden failure</i> dapat dicegah hanya dengan jalan melaksanakan perubahan <i>design</i> pada mesin. |
| Kolom S4 <i>Combination Task</i> | <i>Safety effect</i> dapat dicegah apabila kombinasi aktivitas antar <i>proactive task</i> dilakukan. |

(sumber: Moubray, 1997)

5. *Proposed task*

Apabila *proacvtive task* atau tugas pencarian kegagalan telah dipilih selama proses pengambilan keputusan, maka deskripsi dari tindakan pencegahan yang akan diambil dimasukkan ke dalam kegiatan perawatan yang diusulkan.

6. *Intial interval*

Intial interval digunakan untuk mencatat interval waktu perawatan yang optimal dari masing-masing task yang diberikan untuk scheduling restoration atau discard task.

7. *Can be done by*

Digunakan untuk mencatat siapa yang bias melakukan tindakan perawatan.

2.3 Downtime

Gaspar (1992), pada dasarnya downtime didefinisikan sebagai waktu suatu komponen sistem tidak dapat digunakan (tidak berada dalam kondisi yang baik), sehingga membuat fungsi sistem tidak berjalan. Berdasarkan kenyataan bahwa pada dasarnya prinsip utama dalam manajemen perawatan adalah untuk menekan periode kerusakan (*breakdown period*) sampai batas minimum, maka keputusan penggantian komponen sistem berdasarkan downtime minimum menjadi sangat penting. Pembahasan akan difokuskan pada proses pembuatan keputusan penggantian komponen sistem yang meminimumkan downtime, sehingga tujuan utama dari manajemen system perawatan adalah untuk memperpendek periode kerusakan sampai batas minimum dapat tercapai.

2.4 Keandalan (*Reliability*)

Keandalan didefinisikan sebagai probabilitas bahwa suatu sistem atau komponen mampu melaksanakan fungsinya sebagaimana mestinya untuk interval waktu dan kondisi operasi tertentu. Dari definisi tersebut maka dapat diketahui beberapa parameter penting yang berkaitan dengan

keandalan yaitu probabilitas (peluang), mampu melaksanakan fungsinya (tidak gagal), waktu dan kondisi operasi. Parameter probabilitas membawa keandalan dalam konteks probabilitas, dimana kegagalan yang mengikuti bentuk distribusi probabilitas kegagalan tertentu (LEWIS, 1996).

Teori reliabilitas adalah dasar statistik dan probabilitas untuk teknik reliabilitas. Teknik reliabilitas suatu cabang dari praktek teknik yang terus meningkat seperti kompleksitas dan ketepatan. Ada empat hal yang perlu diperhatikan sehubungan dengan pengertian reliabilitas yaitu :

- a. probabilitas
setiap item atau part (bagian) dalam suatu sistem memiliki umur atau waktu hidup yang berbeda-beda sehingga terdapat sekelompok item yang memiliki rata-rata hidup tertentu. Jadi untuk mengidentifikasi distribusi frekuensi dari suatu item dapat dicari dengan melakukan estimasi waktu hidup dari item tersebut.
- b. keandalan (reliability) yang diharapkan
hal ini menunjukkan bahwa keandalan merupakan suatu karakteristik kinerja sistem yang handal harus dapat menunjukkan performansi yang memuaskan jika dioperasikan.
- c. waktu
keandalan suatu sistem pada umumnya dinyatakan dalam periode waktu karena waktu merupakan parameter yang penting untuk melakukan penilaian kemungkinan suksesnya suatu sistem. Biasanya faktor waktu tersebut dikaitkan dengan kondisi waktu tertentu, seperti waktu antar kerusakan (mean time to failure) dan sebagainya.
- d. kondisi operasional yang spesifik
hal ini menjelaskan bagaimana perlakuan yang diterima sistem dalam menjalankan fungsinya dalam arti bahwa dua buah sistem dengan tingkat mutu sama dapat memberikan tingkat keandalan yang berbeda dalam kondisi operasionalnya.

2.4.1 Fungsi Keandalan

Fungsi keandalan didefinisikan sebagai probabilitas suatu alat akan beroperasi dengan baik tanpa mengalami kerusakan pada suatu periode waktu t dalam kondisi operasi standar. Keandalan didefinisikan sebagai kemungkinan berhasil atau kemungkinan peralatan akan memenuhi fungsi yang diinginkan paling tidak hingga waktu tertentu (t), maka dapat diuraikan sebagai berikut : (Ebellling, 1997)

$$R(t) = P(x \geq t)$$

Dimana :

$R(t)$: Distribusi keandalan yang merupakan probabilitas bahwa waktu kerusakan lebih besar atau sama dengan t .

$P(x \geq t)$: Peralatan beroperasi hingga waktu t

Fungsi keandalan apabila dilihat dari waktu kerusakan variabel x yang memiliki fungsi kepadatan $f(t)$, maka dapat ditulis sebagai berikut:

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

$$R(t) = 1 - \int_0^t f(t) dt \quad \text{untuk } t \geq 0 \quad (2)$$

$$R(t) = \int_0^{\infty} f(t) dt \quad (3)$$

Dimana :

$F(t)$ adalah fungsi distribusi kumulatif $f(t)$ adalah fungsi padat probabilitas

Sejak luas area keseluruhan kurva sama dengan 1, probabilitas fungsi keandalan dan probabilitas fungsi distribusi kumulatif nilainya berada antara :

$$0 \leq R(t) \leq 1 \quad \text{dan} \quad 0 \leq F(t) \leq 1$$

2.5 Fungsi Distribusi

Fungsi distribusi terbagi menjadi 2 yaitu distribusi diskrit dan distribusi kontinyu. Distribusi diskrit adalah distribusi dimana variabelnya secara teoritis tidak dapat menerima sembarang nilai diantara dua nilai yang di berikan dengan variabel random yang bersfat diskrit pada suatu waktu, sedangkan distribusi kontinyu adalah model matematik yag menghubungkan nilai variabel dengan probabilitas terjadinya nilai tersebut.

Dalam teori reliabilitas, variabel yang dipakai adalah variabel acak kontinyu, seperti jarak, waktu, putaran, temperatur. Bila variabel acak adalah diskrit, maka fungsi kegagalan tidak dapat ditentukan. Pada penelitian ini, distribusi yang digunakan ada 4 macam yaitu distribusi normal, lognormal, *weibull*, dan eksponensial.

1. Fungsi Distribusi Normal

Distribusi normal menggambarkan dengan cukup baik banyak gejala yang muncul di alam, industri, dan penelitian. Dalam pengukuran fisik di bidang meteorologi, penelitian curah hujan,

dan pengukuran suku cadang yang diproduksi seiring dengan baik dapat diterangkan menggunakan distribusi normal (Walpole, 1995).

Fungsi-fungsi dalam distribusi normal adalah sebagai berikut (Ebeling, 1997):

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

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\left[\frac{-(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]} \quad (4)$$

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

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

$$F(t) = \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \quad (5)$$

- c. Fungsi keandalan (*reliability function*)

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (6)$$

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \quad (7)$$

- d. Fungsi laju kerusakan

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)} \quad (8)$$

- e. *Mean Time To Failure*

$$MTTF = \mu \quad (9)$$

2. Fungsi Distribusi Lognormal

Distribusi lognormal memiliki dua parameter yaitu parameter bentuk (s) dan parameter lokasi (t_{med}) yang menjadi nilai tengah waktu kerusakan. Seperti distribusi *Weibull*, distribusi lognormal memiliki bentuk yang bervariasi. Yang sering terjadi, biasanya data yang didekati dengan distribusi *Weibull* juga bisa didekati dengan distribusi lognormal (Ebeling, 1997).

Fungsi-fungsi dalam distribusi lognormal adalah sebagai berikut (Ebeling, 1997):

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

$$f(t) = \frac{1}{t.s\sqrt{2\pi}} e^{\left\{-\frac{1}{2s^2} \left[\frac{\ln t}{t_{med}}\right]^2\right\}} \quad (10)$$

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

$$F(t) = \Phi\left(\frac{\ln(t)-\mu}{\sigma}\right) \quad (11)$$

- c. Fungsi keandalan (*reliability function*)

$$R(t) = 1 - \phi\left(\frac{\ln(t) - \mu}{\sigma}\right) \quad (12)$$

d. Fungsi laju kerusakan

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1 - \phi\left(\frac{t - \mu}{\sigma}\right)} \quad (13)$$

e. *Mean Time To Failure*

$$MTTF = e\left(\mu + \frac{\sigma^2}{2}\right) \quad (14)$$

3. Fungsi Distribusi Weibull

Distribusi *weibull* adalah distribusi yang akhir-akhir ini biasa digunakan untuk menangani masalah dengan teknologi sekarang yang sangat rumit perancangan sistemnya, sistem keamanannya dan juga keandalan dari sistem tersebut. Sebagai contoh, suatu sekering putus, tiang baja melengkung, atau alat pengindra panas tidak bekerja. Komponen yang sama dalam lingkungan yang sama akan rusak dalam waktu yang berlainan yang tidak dapat diramalkan (Montgomery, 2005).

Fungsi-fungsi dalam distribusi *Weibull* adalah sebagai berikut (Ebeling, 1997):

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

$$f(t) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta-1} e\left[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta\right] \quad (15)$$

Untuk $t > 0$

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

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta\right] \quad (16)$$

c. Fungsi keandalan (*reliability function*)

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (17)$$

$$R(t) = e\left[-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta\right] \quad (18)$$

d. Fungsi laju kerusakan

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} \quad (19)$$

e. *Mean Time To Failure*

$$MTTF = \alpha \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (20)$$

4. Fungsi Distribusi Eksponensial

Distribusi eksponensial secara luas digunakan dalam bidang keandalan sebagai model dari interval waktu kerusakan dari sebuah komponen atau sebuah sistem (Montgomery, 2005).

Fungsi-fungsi dalam distribusi eksponensial adalah sebagai berikut (Ebeling, 1997):

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

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda} \quad (21)$$

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

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

$$F(t) = 1 - \exp(-\lambda t) \quad (22)$$

- c. Fungsi keandalan (*reliability function*)

$$R(t) = \exp(-\lambda t) \quad (23)$$

Fungsi laju kerusakan

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \lambda \quad (24)$$

- a. *Mean Time To Failure*

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad (25)$$

2.6 Uji Kecocokan

Distribusi yang telah diamati selanjutnya harus dipertimbangkan agar sesuai dengan harapan. Distribusi yang telah diamati harus sesuai dengan nilai teoritis yang telah ada agar bisa dilanjutkan ke tahap selanjutnya. Uji kecocokan distribusi yang digunakan adalah uji *Goodness of Fit*. Pengujian tersebut digunakan karena memiliki probabilitas yang lebih besar dalam menolak suatu distribusi yang tidak sesuai (Ebeling, 1997).

Uji *Goodness of Fit* dibagi menjadi dua jenis yaitu uji umum (*General Test*) dan uji khusus (*Specific Test*). Untuk *General Test* digunakan untuk ukuran sampel yang lebih besar dan menggunakan *Chi Square Test*. Sedangkan untuk *Specific Test* digunakan untuk ukuran sampel yang lebih kecil dan menggunakan *Least Square Test*. Yang termasuk dalam *specific Test* yaitu *Kolmogrov-Smirnov* untuk distribusi normal dan Lognormal, *Barlett Test* digunakan untuk untuk distribusi Eksponensial, dan *Mann's Test* untuk distribusi *Weibull* (Ebeling, 1997).

1. *Kolmogrov-Smirnov Test* untuk distribusi normal dan lognormal

H0 : Data *time to failure* berdistribusi normal atau lognormal

H1 : Data *time to failure* tidak berdistribusi normal atau lognormal

$$D_{n=\max(D_1, D_2)} \quad (26)$$

$$D_1 \max \left\{ \phi \left(\frac{ti - \bar{t}}{s} \right) - \left(\frac{t-1}{n} \right) \right\} \quad (27)$$

$$D_2 = \max \left\{ \left(\frac{i}{n} \right) - \phi \left(\frac{ti - \bar{t}}{s} \right) \right\} \quad (28)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (ti - \bar{t})^2}{n-1}} \quad (29)$$

Keterangan : t_i : *time to failure* ke-1

\bar{t} : rata-rata $e t a u e$ s : standar deviasi n : banyaknya data

Jika $D_n < D_{\text{tabel}}$ maka H_0 diterima. D_{tabel} dilihat dari tabel *critical values for Kolmogorov-Smirnov Test for Normality (Lifors Test)*. Perbedaan penggunaan pengujian ini untuk distribusi normal dan lognormal adalah pada distribusi lognormal yaitu pada nilai $ti = \ln(ti)$.

2. *Mann Test's* untuk distribusi Weibull

H_0 : Data *time to failure* berdistribusi Weibull

H_1 : Data *time to failure* tidak berdistribusi Weibull

$$M = \frac{k_1 \sum [(\ln t_{i+1} - \ln t_i) / M_i]}{k_2 \sum [(\ln t_{i+1} - \ln t_i) / M_i]} \quad (30)$$

$$k_1 = \left[\frac{r}{n} \right] \quad (31)$$

$$k_2 = \left[\frac{r-1}{2} \right] \quad (32)$$

$$M_1 = z_{i+1} - z_i \quad (33)$$

$$z_i = \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{i-0,5}{n+0,25} \right) \right] \quad (34)$$

Keterangan :

t_i : data antar waktu kerusakan ke-i

N : jumlah data antar kerusakan suatu komponen

M_1 : nilai pendekatan *Mann* untuk data ke- i
 M : nilai perhitungan distribusi *Weibull*
 $M_{0,05;k_2;k_1}$: nilai distribusi *Weibull*
 r : banyaknya data

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

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

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

3. Barlett Test untuk pengujian distribusi eksponensial

H_0 : Data *time to failure* berdistribusi eksponensial
 H_1 : Data *time to failure* tidak berdistribusi eksponensial

$$B = \frac{2r \left\{ \ln \left[\left(\frac{1}{r} \right)^{\sum_{i=1}^r t_i} \right] - \left[\left(\frac{1}{r} \right)^{\sum_{i=1}^r t_i} \right] \right\}}{1 + (r+1)/(6r)} \quad (35)$$

Keterangan : t_i : waktu kerusakan ke- i
 r : jumlah kerusakan

Data waktu antar kerusakan berdistribusi eksponensial apabila

$$X^2_{\left(1-\frac{\alpha}{2}, r-1\right)} < B < X^2_{\left(1-\frac{\alpha}{2}, r-1\right)} \quad (36)$$

2.6.1 Identifikasi Distribusi antar Waktu Kerusakan dan Perbaikan

a. Nilai tengah kerusakan

$$F(ti) = \frac{i-0,3}{n+0,4} \quad (37)$$

Keterangan :

t_i : data waktu ke- i n : jumlah kerusakan

b. *Index of Fit*

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{[n(\sum_{i=1}^n x_i^2) - (\sum_{i=1}^n x_i)^2][n(\sum_{i=1}^n y_i^2) - (\sum_{i=1}^n y_i)^2]}} \quad (38)$$

2.6.2 Estimasi Parameter

Maximum likelihood adalah teknik yang sangat luas dipakai dalam penaksiran suatu parameter distribusi data dan tetap dominan dipakai dalam pengembangan uji-uji yang baru (Lehmann.E.L, 1986). Estimasi parameter masing - masing distribusi menggunakan *Maximum Likelihood Estimation* (MLE) untuk menentukan estimasi parameter paling maksimal. Dibawah ini adalah MLE untuk masing – masing distribusi :

a. Distribusi normal

$$\mu = \sum_{i=1}^n t_i \quad (39)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \mu)^2}{n-1}} \quad (40)$$

Keterangan :

t_i : data waktu kerusakan ke- i n : banyaknya data kerusakan μ : nilai tengah
 σ : standar deviasi

b. Distribusi lognormal

$$\hat{\mu} = \frac{\sum_{i=1}^n \ln t_i}{n} \quad (41)$$

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\ln t_i - \hat{\mu})^2}{2}} \quad (42)$$

$$t_{med} = e^{\hat{\mu}} \quad (43)$$

Keterangan :

t_i : data waktu kerusakan ke- i n : banyaknya data kerusakan μ : nilai tengah
 s : standar deviasi

c. Distribusi *Weibull*

$$\beta = b = \frac{n \sum xi yi - \sum xi \sum yi}{n \sum xi^2 - (\sum xi)^2} \quad (44)$$

$$a = \frac{\sum yi}{n} - \frac{b \sum xi}{n} \quad (45)$$

$$\theta = e^{-\frac{a}{\beta}} \quad (46)$$

Keterangan :

t_i : data waktu kerusakan ke- i

d. Distribusi Eksponensial

$$\lambda = \frac{n}{T} \quad (47)$$

Keterangan :

n : jumlah kerusakan

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

2.6.3 Mean Time to Failure

Mean time to failure adalah rata-rata selang waktu kerusakan dari distribusi kerusakan dan digunakan untuk memprediksi atau mempertimbangkan terjadinya suatu kerusakan saat suatu mesin atau suatu sistem berjalan normal.

Dibawah ini adalah nilai MTTF untuk masing – masing distribusi (Ebeling, 1997):

a. Distribusi Normal

$$\mu = MTTF \quad (48)$$

b. Distribusi Lognormal

$$MTTF = t_{med} e^{\frac{s^2}{2}} \quad (49)$$

c. Distribusi Weibull

$$MTTF = \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \quad (50)$$

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

d. Distribusi Eksponensial

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad (51)$$

2.6.4 Mean Time to Repair

Mean time to repair adalah rata-rata selang waktu kerusakan dari probabilitas waktu perbaikan dan digunakan untuk memprediksi atau mempertimbangkan dilakukannya suatu perbaikan saat kerusakan terjadi.

Dibawah ini adalah nilai MTTR untuk masing – masing distribusi (Ebeling, 1997):

- a. Distribusi Normal

$$MTTR = \mu \quad (52)$$

- b. Distribusi Lognormal

$$MTTR = t_{med} e^{\frac{s^2}{2}} \quad (53)$$

- c. Distribusi Weibull

$$MTTR = \theta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (54)$$

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

- d. Distribusi Eksponensial

$$MTTR = \frac{1}{\lambda} \quad (55)$$

2.6.5 Mean Time Between Failure

Menurut Kostas (1981:73), *Mean Time Between Failure* (MTBF) adalah rata-rata interval waktu kerusakan yang terjadi saat mesin selesai diperbaiki sampai mesin tersebut mengalami kerusakan. MTBF dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$MTBF = \frac{\text{Total repair time}}{\text{Number of failure}} \quad (55)$$