

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Perawatan

2.1.1 Definisi Perawatan

Perawatan atau *maintenance* merupakan rangkaian aktivitas penting dilakukan untuk menjaga fasilitas dan peralatan tetap dalam kondisi optimal agar pelaksanaan proses produksi mampu berjalan efektif dan efisien yang berfungsi memonitor dan pemeliharaan fasilitas pabrik, peralatan, fasilitas kerja dengan merancang, mengatur, menangani dan meminimalisir waktu henti (*downtime*) yang diakibatkan kerusakan mesin maupun perbaikan mesin (Manzini, 2010). Perawatan merupakan aktivitas yang bertujuan untuk memastikan secara fisik mampu melakukan apa yang operator inginkan secara terus-menerus. Perawatan harus tetap diperhatikan dengan cara perbaikan, penyesuaian atau penggantian sistem yang diperlukan agar meminimalisir *downtime*.

2.1.2 Tujuan Perawatan

Menurut Assauri (2008), tujuan dari perawatan antara lain adalah mempertahankan kemampuan produksi dalam memenuhi kebutuhan sesuai dengan perencanaan, menjaga kualitas pada tingkat yang tepat untuk memenuhi apa yang dibutuhkan oleh produk dan tidak mengganggu proses produksi, membantu mengurangi pemakaian dan penyimpanan diluar batas, menjaga modal yang diinvestasikan dalam perusahaan selama waktu tertentu sesuai kebijakan perusahaan mengenai investasi tersebut, membantu mencapai tingkat biaya pemeliharaan serendah mungkin dengan melaksanakan kegiatan *maintenance* secara efektif dan efisien, menghindari aktivitas yang dapat membahayakan keselamatan pekerja.

Adapun menurut Sudradjat (2011) bahwa tujuan perawatan adalah sebagai berikut:

- a. menjamin ketersediaan, keandalan fasilitas mesin dan peralatan secara ekonomis maupun teknis agar dapat digunakan seoptimal mungkin
- b. memperpanjang usia kegunaan fasilitas
- c. menjamin kesiapan operasional seluruh fasilitas yang diperlukan
- d. menjamin keselamatan kerja, keamanan dalam penggunaannya

2.1.3 Bentuk Kebijakan Perawatan

Menurut Sudradjat (2011) bentuk kebijakan perawatan adalah sebagai berikut:

1. *Preventive Maintenance*

Preventive maintenance atau perawatan pencegahan adalah kegiatan perawatan yang dilakukan sebelum terjadinya kerusakan, kebijakan ini dapat mencegah terjadinya *breakdown* mesin secara mendadak, perawatan perencanaan bertujuan agar *availability* lebih maksimal, dan meminimasi biaya melalui peningkatan *reliability*. Keuntungan dari penerapan kebijakan perawatan pencegahan adalah dapat menjamin keandalan dari system, menjamin keselamatan operator, usia pakai mesin lebih panjang, *downtime* proses produksi rendah. Kerugian yang terjadi adalah waktu operasi lebih banyak terbuang, terjadi *human error* dalam proses *assembling*.

Menurut Smith and Hinchcliffe (2004) terdapat 4 kategori dalam *preventive Maintenance*, keempat kategori tersebut adalah sebagai berikut:

- a. *Time-Directed* adalah perawatan yang diarahkan secara langsung pada pencegahan kegagalan atau kerusakan
- b. *Condition-Directed* adalah perawatan yang diarahkan pada deteksi kegagalan atau gejala-gejala kerusakan
- c. *Failure-Finding* adalah perawatan yang diarahkan pada penemuan kegagalan tersembunyi
- d. *Run-to-Failure* adalah perawatan yang didasarkan pada pertimbangan untuk menjalankan komponen hingga kerusakan terjadi karena pilihan lain tidak menguntungkan

2. *Breakdown Maintenance*

Breakdown Maintenance atau perawatan kerusakan, yaitu kebijakan perawatan dengan cara melakukan perbaikan saat mesin sudah mengalami kerusakan. Kebijakan ini merupakan strategi yang kurang baik dan merugikan karena menimbulkan biaya perbaikan yang tinggi, kehilangan kesempatan untuk mengambil keuntungan akibat dari mesin terhenti, keselamatan kerja tidak terjamin, kondisi mesin tidak diketahui, dan tidak memiliki perencanaan waktu, kerja maupun biaya yang baik.

Keuntungan dari kebijakan perawatan kerusakan adalah:

- a. Murah dan tidak perlu melakukan perawatan secara kontinyu
- b. Cocok digunakan pada perawatan mesin yang murah dan sederhana, dan atau modular

Kerugian yang ditimbulkan seperti:

- a. Kasar dan berbahaya
- b. Menimbulkan kerugian besar apabila kerusakan terjadi pada mesin mahal, kompleks, dituntut tingkat keselamatan tinggi
- c. Tidak adanya persiapan peralatan dan sumber daya manusia

3. *Predictive Maintenance*

Predictive Maintenance adalah kegiatan perawatan yang dilakukan sebagai upaya pencegahan kerusakan, perawatan pencegahan dilakukan berdasarkan kondisi mesin dengan pemeriksaan secara rutin, sehingga perawatan prediktif disebut dengan perawatan berdasarkan kondisi mesin (*macinery condition monitoring*) untuk mengetahui tingkat keandalan mesin dan keselamatan kerja dapat terjamin.

4. *Corrective Maintenance*

Corrective maintenance merupakan suatu kegiatan perawatan dan pemeliharaan yang dilakukan setelah terjadinya kerusakan sistem sehingga sistem tidak dapat berfungsi dengan baik. Kegiatan perawatan korektif ini meliputi seluruh aktivitas guna mengembalikan kondisi sistem agar dapat beroperasi kembali karena dilakukan ketika sistem telah terjadi kerusakan. Aktivitas yang dilakukan dengan *corrective maintenance* meliputi kegiatan persiapan (*Preparation Time*), yaitu persiapan tenaga kerja, ketersediaan alat & peralatan test, serta kegiatan perawatan (*Active Maintenance Time*) adalah kegiatan rutin dalam perawatan. Aktivitas perbaikan baru dilakukan menunggu hingga terjadinya kerusakan sistem agar dapat dipergunakan kembali dalam proses produksi dengan normal dan optimal.

5. *Scheduled Maintenance*

Perawatan ini bertujuan mencegah terjadinya kerusakan dan perawatannya dilakukan dengan strategi periodik waktu tertentu. Rentang waktu perawatan

ditentukan berdasarkan pengalaman, data masalah, atau rekomendasi dari pabrik pembuat mesin yang bersangkutan.

Downtime merupakan rentang waktu pada saat kejadian komponen system tidak berada dalam kondisi baik, sehingga fungsi system tidak dapat bekerja dengan semestinya. Pada dasarnya prinsip utama dalam manajemen perawatan adalah untuk meminimalisir periode kerusakan (*breakdown periode*), maka keputusan penggantian komponen berdasarkan *downtime* minimum menjadi sangat penting. Penentuan tindakan *preventif* yang optimum dengan mengurangi *downtime* akan dikemukakan berdasarkan interval waktu penggantian (*replacement interval*), bertujuan menentukan penggantian komponen berdasar interval waktu, diantara penggantian *preventive* dengan meminimumkan total *downtime* per unit waktu.

Ada dua jenis pendekatan yang digunakan untuk merencanakan perawatan yaitu pendekatan RCM (*Reliability Centered Maintenance*) dan TPM (*Total Produktive Maintenance*). Pendekatan TPM berorientasi kegiatan manajerial sedangkan RCM berorientasi pada kegiatan teknis, metode RCM dan TPM berkembang dari metode *preventive maintenance*, perbedaannya adalah RCM mempertimbangkan tindakan apabila *preventive maintenance* tidak mungkin dilakukan. Kelebihan dari pendekatan RCM adalah ketika kegiatan perawatan mesin dilakukan harus sesuai kebutuhan, RCM juga melakukan pendekatan dengan analisa kualitatif dan kuantitatif sehingga memungkinkan mencari penyebab kegagalan fungsi dan memberikan solusi sesuai dengan akar permasalahan. Pendekatan RCM telah dikembangkan menjadi RCM II.

2.2 Reliability Centered Maintenance

Menurut Moubrey (1997), *Reliability Centered Maintenance* merupakan metode yang digunakan untuk menjamin setiap item fisik atau suatu system dalam keadaan baik sesuai fungsi yang diinginkan penggunaannya. *Reliability Centered Maintenance* (RCM) berfungsi menjaga keandalan mengacu pada efektifitas biaya perawatan, teknik manajemen perawatan yang mengkombinasikan dua jenis tindakan pencegahan yaitu *preventive maintenance* dan *predictive maintenance*, yaitu pemeliharaan berdasarkan penilaian atau analisa kondisi komponen mesin keseluruhan. *Reliability Centered Maintenance* berkembang menjadi RCM II.

Reliability Centered Maintenance II merupakan proses yang digunakan untuk menentukan apa yang harus dilakukan untuk memastikan bahwa setiap aset fisik terus melakukan apa yang diinginkan penggunaannya dalam konteks operasi saat ini. RCM II mencapai tujuan ini dengan berfokus pada persyaratan fungsional (menjaga fungsi aset, apa yang diinginkan pengguna) meminimalkan atau menghilangkan konsekuensi kegagalan yang terkait dengan fungsi. RCM II menerapkan 7 pertanyaan ke setiap aset penting dengan menggunakan logika keputusan yang kuat untuk mengembangkan Program paling efektif. Hasil dari proses RCM II adalah program pemeliharaan yang layak secara teknis dan layak dilakukan. penerapan RCM II mengarah pada keselamatan yang lebih besar, integritas lingkungan, keandalan dan waktu kerja yang lebih tinggi, biaya perawatan yang lebih rendah dan motivasi kerja yang lebih tinggi:

RCM II akan mempertimbangkan rekomendasi berikut:

- a. Pemeliharaan prediktif
- b. Pemeliharaan berbasis kondisi
- c. Perawatan preventif (penjadwalan *overhaul* / buang)
- d. Pemeriksaan fungsional (tugas penemuan kegagalan)
- e. Perubahan satu kali (pelatihan, prosedur, desain ulang)
- f. Tidak ada jadwal pemeliharaan (*run-to-failure*)

Perbandingan metode RCM dan RCM II adalah sebagai berikut :

Menurut Moubrey (1997), tahun 1974 *Reliability Centered Maintenance* diaplikasikan oleh *United Airlines* oleh Nowlan dan Heap dalam meningkatkan keandalan jet Boeing 747. Pada tahun 1980, John Moubrey dan rekan-rekannya mulai bekerja dengan menerapkan RCM pada sector pertambangan dan manufaktur versi diagram yang sedikit pada tahun 1983-1990. Pada tahun 1998 John Moubrey mulai bekerja dengan organisasi multi-nasional untuk pengembangan pendekatan yang lebih tepat untuk kegagalan yang berisiko pada lingkungan. Sehingga muncul pertanyaan baru pada diagram pengambilan keputusan (*decision diagram*) dan *decision worksheet* mengenai lingkungan dan

keselamatan, pengembangan tersebut disebut RCM II yang diluncurkan pada bulan September 1990 hasil dari metode RCM yakni *tools decision worksheet* dan *decision diagram*. Perbedaan diantara RCM dan RCM II terletak pada tingkat kompleksitas, bahwa RCM II merupakan metode yang memiliki analisa lebih luas, detail dan lebih lengkap dibandingkan dengan RCM. Ada 4 kategori yang digunakan dalam menentukan tindakan perawatan dalam RCM II, yaitu kategori *Hidden (H)*, *Safety (S)*, *Environment (E)*, dan *Operational (O)*. Sedangkan metode RCM memiliki 3 kategori, yaitu *Evident*, *Safety*, dan *Outage*. Moubray mengenalkan metode tersebut pada seluruh perindustrian, sehingga metode ini dapat diterapkan pada semua jenis mesin.

RCM II *Decision Worksheet* adalah lembar kerja yang digunakan dalam mengimplementasikan RCM II guna mengetahui dampak/ konsekuensi yang ditimbulkan dari kegagalan serta tindakan *proactive maintenance* untuk menghadapi kegagalan yang terjadi. *Task-task* disusun secara keseluruhan dibedakan menjadi 4, yaitu:

- a. *Scheduled Discard Task (SDT)*
- b. *Scheduled Restoration Task (SRT)*
- c. *Scheduled On-Condition Task (SOCT)*
- d. *Combination of Task*

Tabel 2.1 RCM Decision Worksheet

RCM Decision Worksheet			Sistem:					Facilitator	Date	
			Sub Sistem					Auditor	Year	
No.	Comp.	Funct.	Funct. Failure	Failure Mode	Failure Effect			Failure Task	Proactive Task	Proposed Task
					Local	Syst	Plant			

2.2.2 Prinsip-Prinsip RCM II

Menurut Pranoto (2015) antara lain :

1. Memelihara fungsional system, bukan hanya memelihara suatu system / alat agar beroperasi tetapi memelihara fungsi system / alat tersebut sesuai dengan harapan
2. Berfokus kepada fungsi system daripada suatu komponen tunggal, yaitu apakah system masih dapat menjalankan fungsi utama jika suatu komponen mengalami kegagalan
3. Berbasis pada keandalan, yaitu kemampuan sistem/*equipment* untuk terus beroperasi sesuai dengan fungsi yang diinginkan
4. Bertujuan menjaga agar keandalan fungsi system tetap sesuai dengan kemampuan yang didesain untuk sistem tersebut
5. Mengutamakan keselamatan (*safety*), kemudian menuju pada masalah ekonomi
6. Pendefinisian bahwa kegagalan (*failure*) sebagai kondisi yang tidak memuaskan (*unsatisfactory*) atau tidak memenuhi harapan, ukurannya adalah tingkat fungsi sesuai *performance standard* yang ditetapkan
7. Memberikan hasil yang nyata / jelas, tugas yang dikerjakan harus dapat menurunkan jumlah kegagalan (*failure*) atau paling tidak menurunkan tingkat kerusakan akibat kegagalan.

2.2.3 Tujuan dan Keuntungan dari RCM II

1. Untuk membangun suatu prioritas desain untuk memfasilitasi kegiatan perawatan yang efektif
2. Untuk merencanakan *preventive maintenance* yang aman dan handal pada level tertentu dari system
3. Untuk mengumpulkan data-data yang berkaitan dengan perbaikan item dengan berdasarkan bukti keandalan yang tidak memuaskan
4. Untuk mencapai ketiga tujuan diatas dengan biaya yang minimum

Keuntungan RCM II adalah sebagai berikut :

1. Dapat menjadi program perawatan yang paling efisien
2. Meminimalisir biaya perawatan dengan mengurangi kegiatan perawatan yang tidak dibutuhkan

3. Meminimasi frekuensi *overhaul*
4. Meminimasi peluang kegagalan peralatan secara mendadak
5. Kegiatan perawatan focus terhadap komponen kritis
6. Meningkatkan *reliability* komponen
7. Menggabungkan *root cause analysis*

2.2.4 Langkah Penerapan RCM II

Reliability Centered Maintenance fokus pada penggunaan analisa kualitatif untuk komponen yang dapat menyebabkan kegagalan pada suatu sistem. Ketujuh pertanyaan tersebut dituangkan dalam bentuk *failure mode, effect, and criticality analysis* dan RCM II *decision worksheet*.

2.2.4.1 Pemilihan system dan Pengumpulan Informasi

1. Pemilihan Sistem

Ada dua hal yang dipertimbangkan dalam penerapan metode RCM II, yaitu:

- a. System yang akan dilakukan analisis; Proses analisis RCM II akan memberikan informasi yang lebih jelas mengenai fungsi dan kegagalan fungsi komponen
- b. Seluruh system akan dilakukan proses analisis; Proses analisis dilakukan pada keseluruhan dan lebih luas, sehingga proses analisis dilakukan secara terpisah agar lebih mudah dalam menunjukkan setiap karakteristik system dari fasilitas yang dianalisa

2. Pengumpulan Informasi

Pengumpulan informasi dilakukan untuk memetakan gambaran dan pengertian lebih mendalam mengenai system serta bagaimana cara kerja system. Informasi-informasi yang dikumpulkan melalui pengamatan langsung, wawancara, dan sejumlah buku referensi.

2.2.4.2 Pendefinisian Batasan Sistem

System yang bekerja dalam suatu pabrik sangat luas, maka perlu dilakukan pembatasan system. Tujuan dari dilakukan batas system adalah menghindari tumpang tindih antara satu system dengan system lainnya.

2.2.4.3 Deskripsi system daan *Functional Block Diagram*

a. Deskripsi Sistem

Fungsi dari deskripsi system adalah untuk mengetahui komponen dalam system dan bagaimana komponen dalam system tersebut dapat bekerja. Sedangkan informasi fungsi system dan cara system beroperasi dipakai sebagai bentuk informasi dalam membuat keputusan kegiatan *maintenance*

b. *Functional Block Diagram*

Melalui blok diagram fungsi untuk suatu system maka *input*, *output* dan interaksi antara sub-sub system tersebut dapat tergambar dengan jelas.

2.2.4.4 Fungsi Sistem dan Kegagalan Fungsi

Fungsi system merupakan kinerja yang diharapkan oleh system agar dapat beroperasi, sedangkan kegagalan fungsi merupakan suatu sistem yang berjalan tidak sesuai dengan standar fungsi sistem tersebut.

2.3 *Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)*

Failure Mode and Effects Analysis digunakan sebagai metodologi untuk mengidentifikasi dan menganalisis semua mode kegagalan dan keamanan dari suatu proses, input dari metode ini antara lain berupa perencanaan, diagram, probabilitas, dan frekuensi data berdasarkan data historis. Sedangkan output yang dihasilkan berupa daftar *most critical risk* dan beberapa target dari mitigasi risiko. Teknik ini menggunakan analisa risiko untuk perbandingan komponen kegagalan terhadap penyebab kegagalan yang dapat dihindari. Proses evaluasi terhadap komponen kritis dilakukan dengan dua pendekatan yang berbeda yaitu *Criticality Number* (CN) dan *Risk Priority Number* (RPN). RPN cenderung menggunakan metode kualitatif secara meranking *Saverity* (S), *Occurance* (O), dan *Detection* (D) dengan bantuan skala 1 sampai 10. Nilai RPN tersebut menunjukkan tingkat kritis dari sistem, semakin tinggi nilai RPN maka akan diasumsikan bahwa komponen tersebut penting diprioritaskan dalam memberikan tindakan koreksi perawatan atau penggantian. Pendekatan CN menggunakan metode kuantitatif dengan mengembangkan nilai *criticality* meliputi probabilitas efek kegagalan (β), rasio kegagalan (α), tingkat kegagalan bagian (λ), dan waktu operasi (τ). Hasil perkalian semua item tersebut akan menghasilkan nilai CN, semakin besaar nilai CN maka semakin besar prioritasnya untuk diberikan tindakan koreksi.

Menurut Rausand (2005), FMEA adalah suatu metodologi untuk mengidentifikasi dan menganalisis:

- a. Semua mode kegagalan potensial dari berbagai bagian system
- b. Efek kegagalan terhadap system dan bagaimana menghindari kegagalan dan atau mengurangi dampak dari kegagalan system

Adapun langkah-langkah secara sistematis dalam menggunakan metode FMEA menurut Modarres (2009) adalah sebagai berikut:

- a. Mengidentifikasi semua failure mode potential dan penyebab
- b. Evaluasi dampak pada setiap failure modes dalam system
- c. Mengidentifikasi metode dalam mendeteksi kerusakan
- d. Mengidentifikasi pengukuran korektif untuk failure modes
- e. Akses frekuensi dan tingkat kepentingan dari kerusakan *urgent* untuk analisa kritis dapat diaplikasikan

Sedangkan menurut Zafiropoulos dan Dialynas (2005), langkah dasar dalam FMEA konvensional meliputi:

- a. Mendefinisikan system, berupa identifikasi fungsi internal dan *interface*. Kinerja yang diharapkan dalam berbagai tingkatan kompleksitas, pembatasan system, dan definisi kegagalan
- b. Melakukan analisis fungsional, mengilustrasi aktivitas operasi keterkaitan, dan ketergantungan entitas fungsional
- c. Mengidentifikasi *failure mode* dan dampaknya, seluruh *failure mode potential* dari item dan *interface* akan diidentifikasi dampaknya terhadap fungsi dan system secara jelas
- d. Menentukan *Severity Rating* (S) dari mode kegagalan, mengacu pada seberapa serius dampak atau efek dari *failure mode*
- e. Menentukan *Occurance Rating* (O) dari frekuensi terjadi mode kegagalan dan analisis kekritisan *failure mode*.
- f. Menentukan *Detection Rating* (D) dari *design control criteria* terjadinya *failure mode*
- g. *Risk Priority Number* (RPN) merupakan hasil perkalian bobot *Severity*, *Occurance*, dan *Detection*. Hasil ini digunakan untuk menentukan komponen kritis.

RPN didapatkan dari perkalian berikut :

$$RPN = Severity (S) \times Occurance (O) \times Detection (D)$$

Berikut adalah keterangan Index dari *Severity*, *Occurance*, dan *Detection*:

Tabel 2.1 *Severity Index*

<i>Rating</i>	<i>Effect</i>	<i>Tingkat Severity</i>
10	<i>Hazardous without warning (HWOW)</i>	Tingkat keparahan sangat tinggi ketika mode kegagalan potensial mempengaruhi sistem safety tanpa peringatan
9	<i>Hazardous With Warning (HWW)</i>	Tingkat keparahan sangat tinggi ketika mode kegagalan potensial mempengaruhi sistem safety dengan peringatan
8	<i>Very High (VH)</i>	Sistem tidak dapat beroperasi kegagalan yang menyebabkan kerusakan / failure tanpa membahayakan keselamatan
7	<i>High (H)</i>	Sistem tidak dapat beroperasi dengan kerusakan peralatan
6	<i>Moderate (M)</i>	Sistem tidak dapat beroperasi dengan kerusakan kecil
5	<i>Low (L)</i>	Sistem tidak dapat beroperasi tanpa kegagalan
4	<i>Very Low (VL)</i>	Sistem dapat beroperasi dengan kinerja mengalami penurunan signifikan
3	<i>Minor (M)</i>	Sistem dapat beroperasi dengan kinerja mengalami beberapa penurunan
2	<i>Very Minor (VMR)</i>	Sistem dapat beroperasi dengan sedikit gangguan
1	<i>None (N)</i>	Tidak ada pengaruh

Sumber: Wang et All (2009)

Tabel 2.2 Occurance Index

Rating	Probability of occurrence	Failure probability
10	<i>Very High (VH)</i> : Kegagalan hampir tidak dapat dihindari	>1 in 2
9	<i>High (H)</i> ; kegagalan berulang	1 in 3
8		1 in 8
7		1 in 20
6	<i>Moderate (M)</i> : kegagalan sesekali	1 in 80
5		1 in 400
4		1 in 8000
3	<i>Low (L)</i> : Relatif sedikit kegagalan	1 in 15000
2		1 in 150000
1		<1 in 150000

Sumber: Wang et All (2009)

Tabel 2.3 Detection Index

Rating	Detection	Kemungkinan Deteksi
10	<i>Absolute Uncertainly (AU)</i>	Tidak ada alat pengontrol yang mampu mendeteksi penyebab kegagalan dan modus kegagalan berikutnya
9	<i>Very Remote (VR)</i>	Sangat kecil kemampuan alat pengontrol mendeteksi penyebab kegagalan dan modus kegagalan berikutnya
8	<i>Remote (R)</i>	Kecil kemampuan alat pengontrol mendeteksi penyebab kegagalan dan

		modus kegagalan berikutnya
7	<i>Very Low (VL)</i>	Sangat rendah kemampuan alat pengontrol mendeteksi penyebab kegagalan dan modus kegagalan berikutnya
6	<i>Low (L)</i>	Rendah kemampuan alat pengontrol mendeteksi penyebab kegagalan dan modus kegagalan berikutnya
5	<i>Moderate (M)</i>	Sedang kemampuan alat pengontrol mendeteksi penyebab kegagalan dan modus kegagalan berikutnya
4	<i>Moderate High (MH)</i>	Sangat sedang kemampuan alat pengontrol mendeteksi penyebab kegagalan dan modus kegagalan berikutnya
3	<i>High (H)</i>	Tinggi kemampuan alat pengontrol mendeteksi penyebab kegagalan dan modus kegagalan berikutnya
2	<i>Very High (VH)</i>	Sangat tinggi kemampuan alat pengontrol mendeteksi penyebab kegagalan dan modus kegagalan berikutnya
1	<i>Almost Certain (AC)</i>	Hampir pasti kemampuan alat pengontrol mendeteksi penyebab kegagalan dan modus kegagalan berikutnya

Sumber : Wang et All (2009)

Tabel 2.4 FMEA Worksheet

System :			Performed by :					Page: Of:						
Ref. Drawing No. :			Date :											
Description of units			Description of Failure			Failure Effect		Failu re Rate	Repa ir rate	A gi n g	Criticality			Risk reducin g measur e
Ref. No.	Func t.	Opr. Mod e	Failu re Mod e	Failu re Caus e	Detect ion of Failure	On Sub- Syste m	On syste m Func t.				Prodt n Vol m.	Qlt y	Main . Cost	

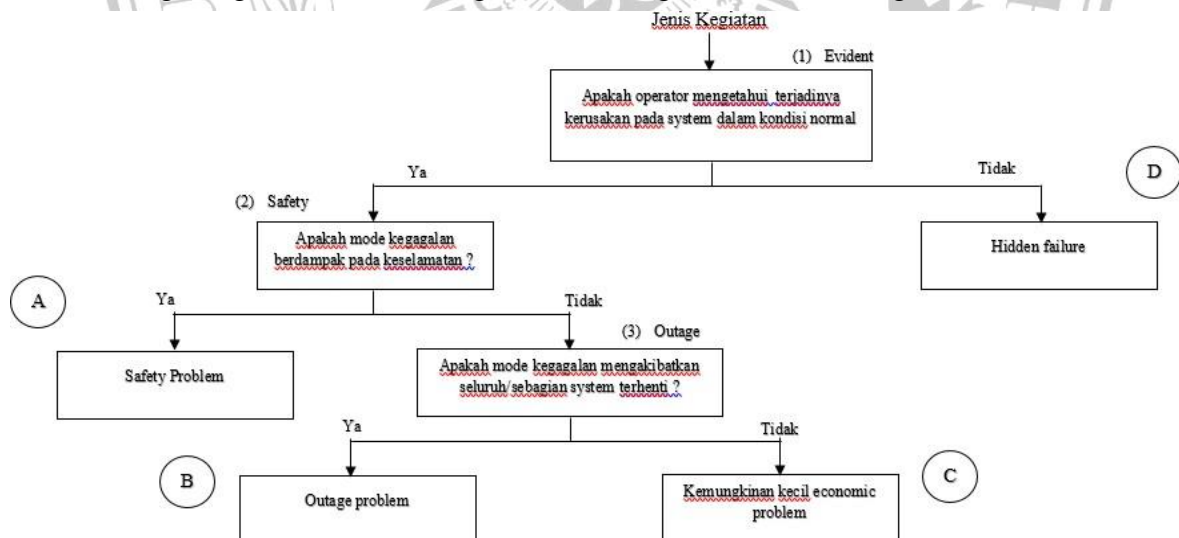
Tabel 2.5 FMECA Worksheet dengan RPN

System :			Performed by :					Page: Of:						
Ref. Drawing No. :			Date :											
Description of units			Description of Failure			Failure Effect		Failur e Rate	Repai r rate	A gi ng	Criticality			Risk Reducing Measure
Ref. No.	Func t.	Opr. Mode	Failur e Mode	Failur e Cause	Detecti on of Failure	On Sub- Syst.	On syst. Funct .				D	S	O	RP N

2.4 Logic Tree Analysis (LTA)

Logic Tree Analysis memiliki tujuan untuk memberikan prioritas pada tiap mode kerusakan, melakukan tinjauan fungsi dan kegagalan fungsi sehingga status mode kerusakan berbeda. Proses *Logic Tree Analysis* menggunakan pertanyaan logika yang sederhana atau struktur keputusan kedalam empat kategori dengan jawaban “Ya” atau “Tidak”. Berikut adalah hal-hal yang penting dalam analisis kekritisan :

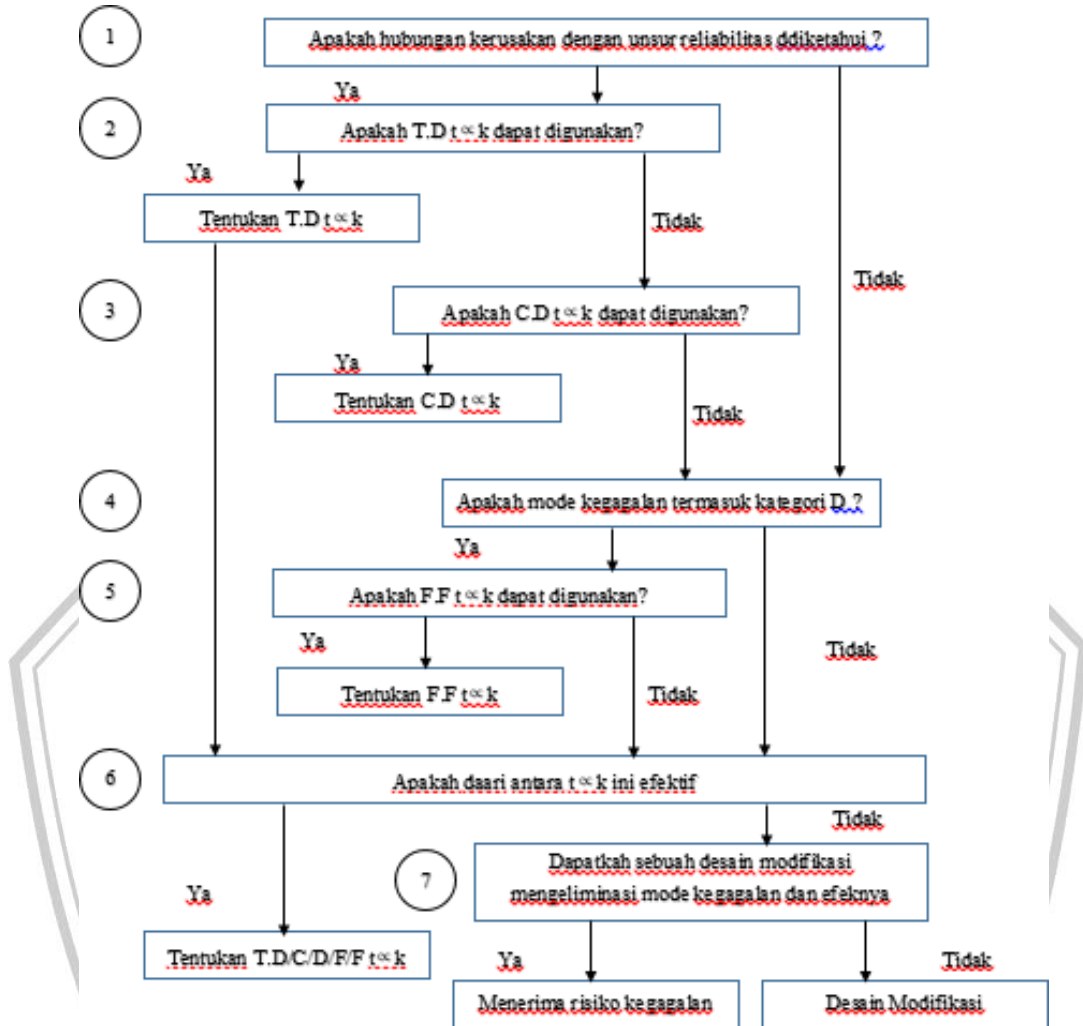
- a. *Evident*: Apakah operator mengetahui terjadi gangguan dalam kondisi normal dalam system?
- b. *Safety*: Apakah mode kerusakan ini berpengaruh dalam keselamatan pekerja?
- c. *Outage*: Apakah mode kerusakan ini mengakibatkan seluruh atau sebagian mesin dapat terhenti?
- d. *Category*: mengategorikan data yang telah diperoleh dari jawaban atas pertanyaan yang diajukan. Komponen terbagi dalam 4 kategori, yaitu:
 1. *Safety Problem*: Apabila failure mode memiliki konsekuensi *safety* pada personal atau lingkungan
 2. *Outage Problem*: Apabila *failure mode* memiliki konsekuensi terhadap operasional *plant* sehingga dapat menyebabkan kerugian ekonomi yang signifikan
 3. *Economic Problem*: Apabila *failure mode* tidak berdampak pada *safety* maupun operasional *plant* dan hanya menyebabkan kerugian ekonomi relative kecil untuk perbaikan
 4. *Hidden Failure*: Apabila *failure mode* tergolong sebagai hidden failure yang digolongkan kedalam kategori D/A, kategori D/B, dan kategori D/C



Gambar 2.2 Logic Tree Analysis

Sumber : Smith and Hinchcliffe (2004), RCM- *To World Class Maintenance*

2.4.2.1 Pemilihan Tindakan



Gambar 2.3 Road Map Pemilihan Tindakan

(Sumber : Smith and Hinchliffe, hal 114)

Pada gambar 2.3 *Road Map* yang digunakan untuk menentukan pemilihan tindakan dengan pendekatan *Reliability Centered Maintenance* (RCM). Terdapat 3 jenis tindakan perawatan, yaitu :

1. *Condition Directed* (C.D), tindakan untuk mendeteksi kerusakan dengan cara visual inspection, memeriksa alat, serta memonitoring sejumlah data. Apabila pendeteksian ditemukan gejala-gejala kerusakan alat maka lanjut dengan perbaikan atau penggantian komponen.
2. *Time Directed* (T.D), tindakan untuk pencegahan langsung pada sumber kerusakan yang didasarkan pada waktu dan atau umur komponen
3. *Finding Failure* (F.F), tindakan yang digunakan untuk menemukan kerusakan tersembunyi dengan pemeriksaan berkala

2.3 Keandalan

Keandalan (*reliability*) merupakan salah satu parameter untuk melihat keberhasilan system perawatan, selain itu juga digunakan untuk menentukan penjadwalan perawatan sendiri. Sehingga ukuran keberhasilan suatu tindakan perawatan (*maintenance*) diperoleh dari tingkat reliabilitas.

Menurut E. Ebeling (2003) *reliability* merupakan probabilitas suatu sistem dapat beroperasi dengan baik tanpa mengalami kerusakan pada suatu kondisi tertentu dan waktu yang telah ditentukan. Menurut Birolini (2003) *reliability* merupakan karakteristik probabilitas suatu system dapat melakukan fungsi dalam kondisi tertentu dan waktu yang telah ditentukan. Tujuan utama dari keandalan adalah untuk memberikan informasi sebagai basis dalam mengambil keputusan, teori *reliability* dapat digunakan untuk memprediksi kapan suatu komponen pada suatu mesin akan mengalami kerusakan, sehingga dapat menentukan kapan harus dilakukan perawatan, pergantian, dan penyediaan komponen

Dalam teori *reliability* menurut E. Ebeling (1973), terdapat empat konsep yang dipakai dalam pengukuran tingkat keandalan suatu sistem:

1. Fungsi kepadatan probabilitas

Fungsi ini menunjukkan bahwa kerusakan terjadi secara terus-menerus (*continuous*), bersifat probabilistic dalam selang waktu $(0, \infty)$. Pengukuran kerusakan dilakukan menggunakan data variable tinggi, jarak, dan jangka waktu. Dimana fungsi $f(x)$ dinyatakan fungsi kepadatan probabilitas.

2. Fungsi distribusi kumulatif

Fungsi ini menyatakan bahwa probabilitas kerusakan dalam percobaan acak, dimana variable acak tidak lebih dari x

3. Fungsi Keandalan

Bila variabel acak dinyatakan sebagai waktu kegagalan atau umur komponen maka fungsi keandalan dinotasikan dengan $R(t)$ memiliki range

$0 < R(t) < 1$, dimana:

$R = 1$ sistem dapat melaksanakan fungsi dengan baik

$R = 0$ sistem tidak dapat melaksanakan fungsi dengan baik

Maka rumus fungsi keandalan adalah sebagai berikut:

$$R(t) = 1 - P(T < t) \quad (1)$$

$$= \int_t^{\infty} f(t) dt \quad (2)$$

$$= 1 - F(t) \quad (3)$$

Fungsi keandalan $R(t)$ untuk *preventive maintenance* dirumuskan berikut:

$$R(t-nT) = 1 - F(t-nT) \quad (4)$$

Dimana:

n : jumlah pergantian pencegahan hingga waktu t

T : interval pergantian komponen

$F(t)$: frekuensi distribusi kumulatif komponen

4. Fungsi laju kerusakan adalah limit dari laju kerusakan dengan panjang interval waktu mendekati 0, maka fungsi laju kerusakan merupakan laju kerusakan sesaat

2.5 Pola Distribusi Data

2.5.1. Distribusi Weibull

Distribusi *Weibull* digunakan dalam karakteristik kerusakan dan keandalan komponen, digunakan dalam analisa keandalan dalam menghitung umur komponen. Distribusi ini memiliki kemampuan memodelkan data berbeda dengan pengaturan nilai parameter bentuk β . Fungsi-fungsi dari distribusi *Weibull* adalah:

- a. Fungsi kepadatan probabilitas (Ansori & Imron, 2013)

$$f(t) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta-1} \expn \left[\left(-\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta} \right] \quad (5)$$

$$\alpha\beta \geq 0 \quad (6)$$

- b. Fungsi distribusi Kumulatif (Jardin, 1973)

$$F(t) = 1 - \expn \left[\left(-\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta} \right] \quad (7)$$

c. Fungsi keandalan (Jardin,1973)

$$R(t) = \expn \left[\left(-\frac{t}{\alpha} \right)^\beta \right] \quad S \quad (8)$$

d. Fungsi laju kerusakan, (Ansori & Imron, 2013)

$$r(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t}{\alpha} \right)^{\beta-1} \quad (9)$$

e. MTTF (*Mean Time to Failure*)

$$\alpha \gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right)$$

Parameter β disebut dengan parameter kemiringan *weibull* (*weibull slope*), sedangkan parameter α disebut dengan parameter skala atau karakteristik hidup. Bentuk fungsi distribusi weibull bergantung pada parameter bentuk (β), yaitu :

$\beta < 1$: Distribusi *weibull* berupa distribusi *hyper-exponential* dengan laju kerusakan cenderung menurun

$\beta = 1$: Distribusi *weibull* berupa distribusi exponential dengan laju kerusakan cenderung konstan

$\beta > 1$: Distribusi *weibull* berupa distribusi normal dengan laju kerusakan cenderung meningkat

2.5.2 Distribusi Normal

Distribusi normal (gaussian) merupakan distribusi probabilitas yang paling penting dalam teori maupun aplikasi statistic. Fungsi-fungsi dari distribusi Normal menurut Jardine (1973) adalah sebagai berikut :

a. Fungsi Kepadatan Probabilitas

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \expn \left(-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2} \right); -\infty < t < \infty \quad (10)$$

b. Fungsi Distribusi Kumulatif

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_t^{t+1} \expn \left(-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2} \right) dt \quad (11)$$

c. Fungsi Keandalan

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_t^\infty \expn \left(-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2} \right) dt \quad (12)$$

d. Fungsi Laju Kerusakan

$$r(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\exp[-(t-\mu)^2/2\sigma^2]}{\int_t^\infty \exp[-(t-\mu)^2/2\sigma^2]} dt \quad (13)$$

e. MTTF (*Mean Time to Failure*)

dimana:

σ = standar deviasi dari variable acak T

μ = rata-rata dari variable acat T

2.5.3 Distribusi Log Normal

Distribusi Lognormal digunakan untuk menggambarkan distribusi kerusakan untuk situasi yang bervariasi. Distribusi lognormal banyak digunakan di bidang teknik. Fungsi-fungsi distribusi Lognormal adalah:

- a. Fungsi kepadatan probabilitas (Ansori dan Imron, 2013)

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \expn \left(-\frac{(\ln(t)-\mu)^2}{2\sigma^2} \right); -\infty < t < \infty \quad (14)$$

- b. Fungsi distribusi Kumulatif (Jardine, 1973)

$$F(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_t^{t+1} \expn \left(-\frac{(\ln(t)-\mu)^2}{2\sigma^2} \right) dt \quad (15)$$

- c. Fungsi Keandalan (Jardine, 1973)

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_t^{\infty} \expn \left(-\frac{(\ln(t)-\mu)^2}{2\sigma^2} \right) dt \quad (16)$$

- d. Fungsi laju kerusakan (Ansori dan Imron, 2013)

$$R(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (17)$$

- e. MTTF (*Mean Time to Failure*)

$$\text{Expn} \left(\mu + \frac{\sigma^2}{2} \right)$$

Konsep *reliability* distribusi lognormal dilihat dari nilai μ (rata-rata) dan σ (standar deviasi)

2.5.4 Distribusi Eksponensial

Distribusi eksponensial sering digunakan dalam berbagai bidang, terutama dalam teori keandalan. Hal ini disebabkan karena umumnya data kerusakan memiliki gambaran yang dapat mencerminkan distribusi eksponensial. Distribusi eksponensial akan tergantung pada nilai λ , yaitu laju kegagalan (konstan). Menurut Ansori & Imron (2013) fungsi-fungsi dari distribusi eksponensial adalah sebagai berikut :

- a. Fungsi kepadatan probabilitas

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (18)$$

$$t > 0$$

dimana :

t = waktu

λ = Rasio kegagalan konstan (*constant failure rate*)

b. Fungsi distribusi kumulatif

$$f(t) = 1 - \lambda e^{-\lambda t} \quad (19)$$

c. Fungsi keandalan

$$R(T) = 1 - F(t) = e^{-\lambda t} \quad (20)$$

d. Fungsi laju kerusakan

$$r(t) = \lambda$$

$$\lambda(t) = \frac{f'(T)}{R(t)} = \lambda$$

e. $MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt = \frac{1}{\lambda} \quad (21)$

f. MTTR =

2.6 Uji Kolmogorov-Smirnov

Uji Kolmogorov-Smirnov atau disebut juga uji *Goodness of Fit* (kesesuaian) berfungsi untuk analisa data antara frekuensi hasil pengamatan dengan frekuensi yang diharapkan. Uji goodness of fit dikemukakan oleh A. Kolmogorov dan N. V. Smirnov dari Rusia. Menurut ahli matematika ini, distribusi variable yang diuji bersifat kontinu dan sampel diambil dari populasi sederhana. Sehingga uji ini hanya digunakan bila variable yang diukur paling sedikit dalam skala ordinal yaitu interval waktu pergantian komponen. Beberapa keuntungan dan kerugian dapat diperoleh dari uji kesesuaian Kolmogorov-Smirnov dibanding uji Chi-Kuadrat, yaitu:

1. Uji Kolmogorov-Smirnov tidak perlu dilakukan kategorisasi, dengan demikian semua informasi hasil pengamatan terpakai
2. Uji Kolmogorov-Smirnov bisa digunakan untuk semua sampel
3. Uji Kolmogorov-Smirnov tidak bisa untuk memperkirakan parameter populasi
4. Uji Kolmogorov-Smirnov memakai asumsi bahwa distribusi populasi teoritis bersifat kontinyu

2.7 Penentuan Waktu Optimal Interval Penggantian Komponen

Downtime merupakan waktu suatu komponen system tidak dapat bekerja sesuai fungsi. Prinsip utama dari perawatan adalah menekan periode kegagalan sampai batas minimum, maka keputusan penggantian komponen system sesuai *downtime* minimum sangat penting. Pembahasan yang akan dititik beratkan pada proses pembuatan keputusan penggantian komponen sistem untuk meminimalisir *downtime*, tujuan utama dari manajemen system perawatan untuk memperpendek periode kerusakan sampai batas minimum berdasar interval waktu penggantian. Menurut Jardine (1973:32) ada dua kondisi yang harus diperhatikan dalam kebijakan penggantian komponen, yaitu: (a) Ongkos total penggantian komponen akibat kerusakan harus lebih besar dari pada ongkos total penggantian komponen untuk melakukan pencegahan, (b) Laju kerusakan dari peralatan harus meningkat. Secara umum terdapat dua model penggantian (Jardine, 1973:9) yaitu model *Block Replacement* dan *Age Replacement*. Model penggantian dari pengembangan model *Age Replacement* yang disebut model *Opportunity Based-Age Replacement*. Berikut uraian dari ketiga model penggantian tersebut:

A. Model *Block Replacement*

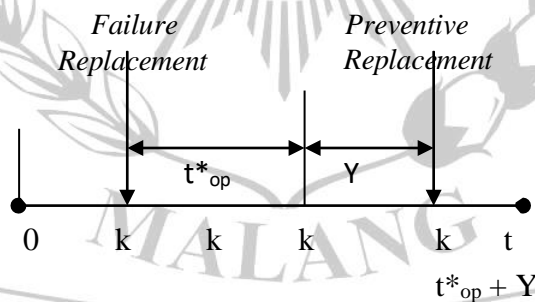
Penggantian komponen pada model ini dilakukan pada interval tetap (t_p), tanpa memperhatikan umur komponen. Fokus utama dalam model ini adalah pelaksanaan penggantian *preventive* setiap interval waktu t_p , tanpa memperhatikan frekuensi penggantian komponen akibat kerusakan selama selang waktu t_p . Jadi pada saat waktu t_p semua komponen akan diganti tanpa memperhatikan kapan komponen tersebut terakhir kali diganti dalam interval waktu t_p .

B. Model *Age Replacement*

Model penentuan interval waktu pencegahan dengan kriteria minimasi ongkos total perawatan perunit waktu. Pada model ini penggantian pencegahan dilakukan pada interval waktu yang konstan dengan tetap melakukan penggantian apabila terjadi kerusakan. Apabila penggantian dilakukan akibat terjadi kerusakan maka penggantian pencegahan berikutnya ditentukan berdasarkan penggantian pencegahan terakhir yang dilakukan.

C. Model *Opportunity Based-Age Replacement*

Pemberhentian salah satu mesin dari suatu proses produksi yang bersifat kontiniu akan menyebabkan terhentinya proses produksi secara keseluruhan, akibat dari *shut down* tersebut keuntungan dari seluruh bagian lini produksi akan hilang. Pada prinsipnya pemberhentian atau *shut down* dengan kriteria tertentu pada suatu lini produksi yang bersifat kontiniu dapat dimanfaatkan untuk melakukan pelaksanaan *preventive maintenance* (Dekker dan Dijkstra, 1992). Salah satu model replacement yang memanfaatkan *shut down* mesin adalah model *Opportunity Based-Age Replacement* yang dikembangkan oleh Rommert Dekker dan Matthijs C, Dijkstra. Model *Opportunity Based-Age Replacement* merupakan pengembangan dari model *Age Replacement*, tapi interval waktu yang dipakai dalam model ini tidak selalu t , melainkan disesuaikan dengan datangnya kesempatan untuk melakukan penggantian. Dalam model *Opportunity Based-Age Replacement* ini, komponen diganti pada suatu kesempatan jika umur komponen tersebut telah mencapai interval optimal pengantiannya (t^*_{op}). Tetapi jika terjadi kerusakan pada interval waktu t^*_{op} maka penggantian komponen dilakukan pada saat itu juga dan rencana penggantian pencegahan berikutnya dilakukan pada kesempatan pertama yang datang setelah interval waktu t^*_{op} yang dihitung mulai saat penggantian, karena disebabkan kerusakan komponen tersebut.



Gambar 2. Model *Opportunity Based-Age Replacement*

Keterangan:

k : menunjukkan suatu kesempatan

t^*_{op} : interval optimal penggantian

Y : waktu antar kerusakan/penggantian

Menurut Jardine (2013) berikut adalah rumus total *minimum downtime* :

$$D(t) = \frac{H(t)T_f + T_p}{t_p + T_p} \quad (22)$$

Dimana :

H(t) : Banyaknya kerusakan dalam interval waktu (0, tp)

Tf : Waktu untuk penggantian komponen yang rusak

Tp : Waktu untuk penggantian komponen sebelum rusak

tp + Tp: Panjang satu siklus

Total *minimum downtime* diperoleh tindakan penggantian komponen berdasarkan interval waktu tp optimum. Komponen yang memiliki distribusi kegagalan mengikuti distribusi peluang tertentu dengan fungsi peluang f(t), maka nilai harapan (*expected value*) jumlah kegagalan yang terjadi dalam interval waktu (0, tp) dapat dihitung dengan rumus dari Kurniawan (2013) berikut:

$$\sum_{i=0}^{t_p-1} [1 + H(t_p - 1 - i)] \int_i^{i+1} f(t) dt \quad (23)$$

H(0) ditetapkan sama dengan 0, sehingga tp=0, maka H(tp)=0