

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Sebelumnya

Irawan (2012), dalam penelitian di PG. Jombang Baru, studi kasus pada bagian produksi gula, dimana sering terjadi kerusakan yang mengakibatkan banyaknya biaya perawatan yang dikeluarkan, selain itu terhambatnya proses produksi gula mengakibatkan penurunan pendapatan yang di terima oleh PG. Jombang Baru.

Penelitian ini dimulai dengan pemilihan mesin. Pemilihan mesin ini didasarkan pada frekuensi kerusakan mesin, dan *down time* mesin. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Reliability Centered Maintenance (RCM)* dengan pendekatan teori keandalan. Data yang diambil meliputi data kualitatif, yaitu : data fungsi mesin, data kegagalan, data penyebab kegagalan dan efek yang ditimbulkan bila terjadi kegagalan. Dan data kuantitatif yaitu : data waktu antar kerusakan, waktu perbaikan dan data biaya perbaikan. Dalam *RCM* setiap permasalahan tersebut dianalisis dengan *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* dan *RCM Work Sheet*. Hasil akhir dari *RCM* merupakan rumusan strategi kebijakan perawatan tiap komponen mesin.

Dari hasil pengolahan data dan analisis berdasarkan metode *RCM* didapatkan penurunan total biaya perawatan untuk semua komponen. Penurunan biaya terletak pada komponen *Disk Rotor*, komponen *Rake*, komponen *Rel*, komponen Pisau meliputi ; pisau, tangkai pisau, baut pisau yang mengakibatkan total penurunan biaya selama satu musim giling sebesar 88% dari biaya perawatan sebelumnya.

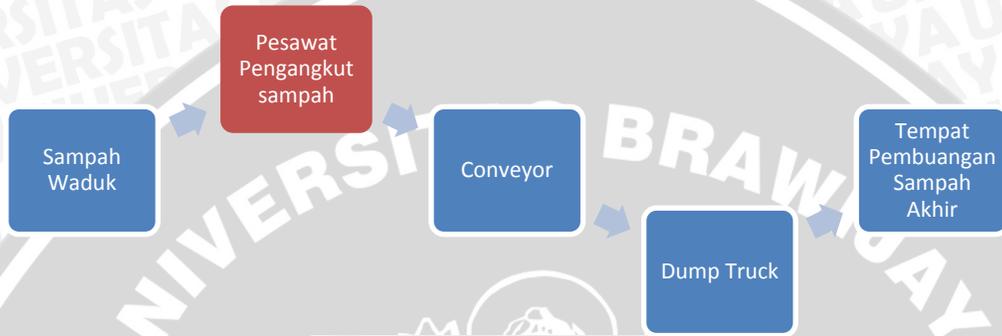
Kurniawan (2008), dalam penelitian yang dilakukan di Pertamina-Petrochina *East Java* studi kasus pada mesin *Joint Opening Body* didapatkan juga penurunan biaya perawatan untuk tiap komponen sebagai berikut : *Pump Shaft* 22,76 %, *Wearing Ring* 2,65 %, *Shaft Sleeves* 26,42 %, *Mechanical Seal* 10,28 %, *Casing Gasket* 21,27 %, *Bearing* 17,45 %.

2.2. Pesawat Pembersih Sampah (PPS)

Pesawat Pembersih Sampah (PPS) adalah suatu alat mekanis yang digunakan untuk membersihkan sampah di daerah *trashrack*, dengan adanya PPS di sistem *trashrack*, maka

sampah yang menumpuk di daerah *trashrack* dapat di bersihkan, sistem PPS bekerja secara mekanik dengan kontrol elektrik. *Trashrack* sebagai gerbang utama saluran air menuju turbin pembangkit mempunyai fungsi yang vital, tidak adanya *trashrack* beserta sistem PPS nya dapat mengganggu produksi unit pembangkit karena banyaknya sampah yang menumpuk dan bisa menyebabkan kerusakan.

Diagram alir pengangkutan sampah:

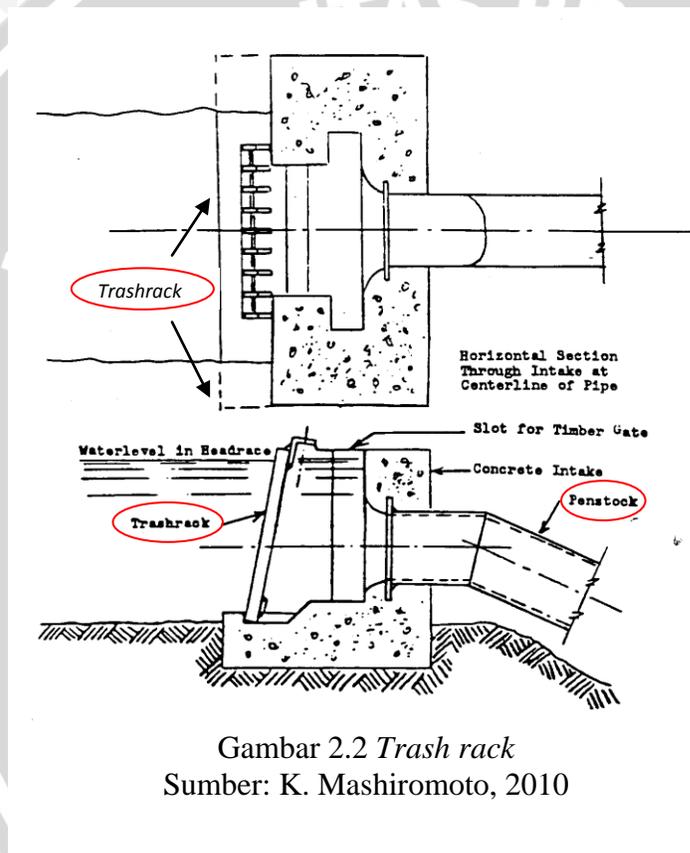


Gambar 2.1 Pesawat Pembersih Sampah (PPS)

Sumber: Steward Boeny, 2012

2.2.1. *Trash rack*

Trash rack merupakan alat penyaring sampah di depan *penstock*. Dengan adanya *trash rack* ini, maka aliran air yang melewati *penstock* menjadi bebas dari sampah yang dapat merusak turbin pembangkit. *Trash rack* sebagai gerbang aliran air sebelum memasuki *penstock* mempunyai peran vital, jika pada *trash rack* banyak sampah yang menyumbat maka aliran air yang memasuki *penstock* tidak maksimal atau mengalami pengurangan yang dapat menyebabkan produksi listrik berkurang akibat daya yang digunakan untuk menggerakkan turbin pembangkit berkurang.



Gambar 2.2 *Trash rack*
Sumber: K. Mashiromoto, 2010

2.2.2. *Bucket Trash*

PPS sendiri mempunyai bagian-bagian, diantaranya sisir. Sisir pada PPS berfungsi untuk mengeruk sampah yang ada di waduk maupun di celah-celah *trash rack*. Pada bagian sisir tersebut sering terjadi kerusakan, kerusakan yang biasa terjadi adalah patah dikarenakan terjadi gesekan antara sisir dengan *trash rack* yang mempunyai celah-celah

yang tidak sesuai lokasinya (dislokasi). Perlu pergantian sisir PPS ketika ada patah pada sisir PPS.

2.3. Perawatan

Suatu mesin jika digunakan secara terus menerus tentunya akan mengalami penurunan tingkat kemampuan, tetapi usia kegunaan mesin bisa diperpanjang dengan mengadakan perawatan secara teratur. Sampai saat ini pada beberapa perusahaan, perawatan pencegahan masih kurang diperhatikan. Pada umumnya perusahaan melakukan kegiatan perawatan setelah mesin benar-benar rusak. Hal ini disebabkan belum dipahaminya tujuan dari aktifitas perawatan dan manfaatnya bagi perusahaan.

2.3.1. Pengertian dan Tujuan Perawatan

Perawatan adalah upaya yang dilakukan untuk menjamin suatu asset dapat bekerja secara kontinyu sesuai yang diinginkan penggunaannya (Moubray (1997:7)). Pengertian perawatan adalah kegiatan untuk memelihara atau menjaga fasilitas atau peralatan pabrik dan mengadakan perbaikan atau penyesuaian atau penggantian yang diperlukan agar terdapat suatu keadaan operasi produksi yang memuaskan sesuai apa yang direncanakan (Sofyan Assauri (1987:89)).

Adapun tujuan utama dari pemeliharaan (Sofyan Assauri (1987:89)) adalah :

1. Kemampuan produksi dapat memenuhi kebutuhan sesuai dengan rencana produksi.
2. Menjaga kualitas pada tingkat yang tepat untuk memenuhi apa yang dibutuhkan oleh produk itu sendiri dan kegiatan produksi yang tidak terganggu.
3. Untuk mencapai biaya *maintenance* yang serendah mungkin, dengan melaksanakan kegiatan *maintenance* secara efektif dan efisien keseluruhannya.
4. Menghindari kegiatan *maintenance* yang dapat membahayakan keselamatan pekerja.
5. Mengadakan suatu kerjasama yang erat dengan fungsi-fungsi utama lainnya dari suatu perusahaan dalam rangka mencapai tujuan utama perusahaan, yaitu tingkat keuntungan yang sebaik mungkin dan total biaya yang serendah mungkin.

2.3.2. Jenis-Jenis Perawatan

Kegiatan perawatan di perusahaan beraneka ragam, mulai dari perbaikan ringan sampai perbaikan yang cukup berat. Secara garis besar kegiatan perawatan diklasifikasikan sebagai berikut (Sofyan Assauri (1987:89)) :

1. *Preventive Maintenance* (Perawatan Pencegahan)

Preventive Maintenance adalah kegiatan 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 berproduksi.

Preventive Maintenance dibedakan menjadi 2 macam, yaitu:

a. *Routine Maintenance* (Perawatan Rutin)

Merupakan kegiatan perawatan yang dilakukan secara rutin, misalnya setiap hari. Sebagai contoh dari kegiatan perawatan ini adalah pembersihan fasilitas atau peralatan, pelumasan atau pengecekan oli serta pengecekan isi bahan bakar dan mungkin termasuk pemanasan awal dari mesin-mesin selama beberapa menit sebelum dipakai beroperasi setiap hari.

b. *Periodic Maintenance* (Perawatan Periodik)

Periodic Maintenance adalah kegiatan perawatan yang dilakukan secara periodik atau dalam waktu tertentu, misalnya setiap satu minggu sekali, kemudian meningkat setiap bulan dan akhirnya setiap satu tahun sekali. Perawatan periodik dapat pula dilakukan dengan memakai lamanya jam kerja mesin produksi tersebut sebagai jadwal kegiatan, misalnya setiap seratus jam kerja mesin dan seterusnya. Sebagai contoh dari kegiatan ini adalah pembongkaran karburator atau pembongkaran alat-alat dibagian sistem aliran bensin, penyetelan katup-katup pemasukan ataupun sistem pembuangan pada mesin dan lain-lain.

2. *Corrective* atau *Breakdown Maintenance* (Perawatan Korektif)

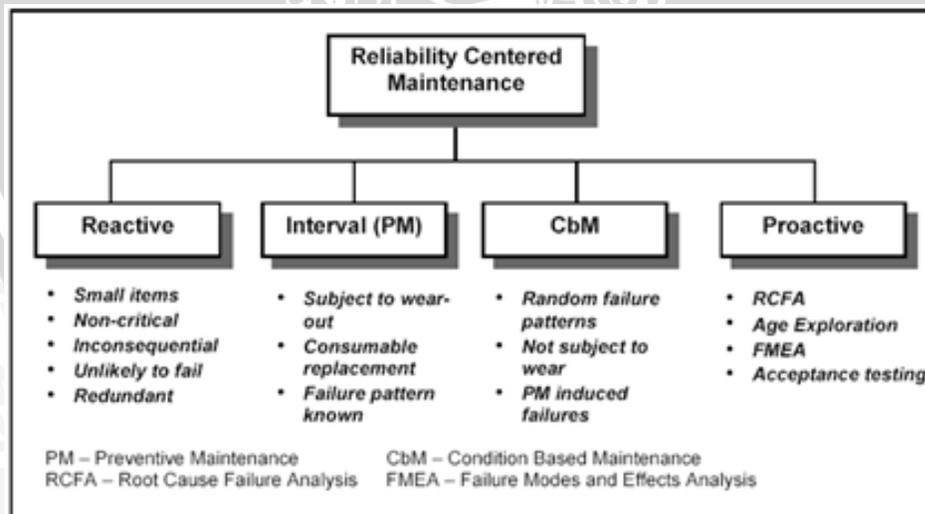
Perawatan korektif adalah kegiatan perawatan yang dilakukan setelah terjadinya kerusakan pada fasilitas atau peralatan sehingga tidak dapat berfungsi dengan baik. Kegiatan perawatan yang korektif yang dilakukan sering disebut dengan kegiatan perbaikan atau reparasi. Tindakan yang diambil tergantung pada

jenis kerusakan mesin, misalnya penggantian, perbaikan kecil (*repair*), dan perbaikan besar (*overhaul*).

2.4. Reliability Centered Maintenance

Reliability Centered Maintenance diartikan sebagai suatu proses yang digunakan untuk menjelaskan apa yang harus dilakukan untuk menjamin suatu asset fisik dapat berjalan dengan baik sesuai dengan keinginan penggunanya (Moubray (1997:7)). Keuntungan dari metode *RCM* ini adalah :

- Penentuan program pemeliharaan difokuskan pada komponen atau mesin-mesin kritis (*critical item list*), dan menghindari kegiatan perawatan yang tidak diperlukan dengan menentukan interval pemeliharaan yang tepat.
- Menggabungkan analisa kualitatif dan kuantitatif dalam penentuan program pemeliharaan. Analisa kualitatif terdapat pada tindakan perawatan yang diusulkan (*propose task*) atau diambil, apakah itu *Scheduled Restoration Task*, *Scheduled Discard Task*, dan *Scheduled On- condition Task*. Sedangkan analisa kuantitatif terdapat pada penentuan initial interval atau interval perawatan, dengan mempertimbangkan biaya perawatan dan perbaikan komponen. Sehingga penentuan interval perawatan yang didapat akan memberikan nilai *total cost* yang minimum.



Gambar 2.3. Proses Layout *Reliability Centered Maintenance (RCM)*

Sumber : Arileksana, 2010

Tujuan *Reliability Centered Maintenance* (Arileksana (2010)), yaitu :

1. Untuk mengembangkan desain yang sifat mampu dipeliharanya (*maintain ability*) baik.
2. Untuk memperoleh informasi yang penting untuk melakukan *improvement* pada desain awal yang kurang baik.
3. Untuk mengembangkan sistem *maintenance* yang dapat mengembalikan kepada *reliability* dan *safety* seperti awal mula *equipment* dari deteriorasi yang terjadi setelah sekian lama dioperasikan.
4. Untuk mewujudkan semua tujuan di atas dengan biaya minimum.

Keuntungan dari metode *Reliability Centered Maintenance (RCM)*, yaitu :

1. Bisa menjadi program pemeliharaan yang paling efisien
2. Biaya perawatan lebih rendah dengan mengurangi atau menghilangkan tindakan perawatan yang tidak perlu
3. Mengurangi frekuensi overhaul
4. Fokus kepada peralatan yang kritis
5. Mengurangi kemungkinan terjadinya kegagalan peralatan secara tiba-tiba.
6. Meningkatkan keandalan peralatan

Sedangkan kekurangannya, yaitu :

1. Biaya awal yang tinggi, diantaranya yaitu pelatihan tentang *RCM*
2. Hasil tidak dapat dilihat dengan cepat

Dalam *RCM* ada 7 pertanyaan yang harus dijawab, ketujuh pertanyaan tersebut adalah :

1. Apa fungsi dan kinerja standart dari aset tersebut (*system function*)?
2. Bagaimana peralatan atau aset tersebut dapat rusak dalam menjalankan fungsinya (*function failure*)?
3. Apa penyebab kegagalan fungsi atau kerusakan dari peralatan tersebut (*failure mode*)?
4. Apa yang terjadi saat terjadi kerusakan (*failure effect*)?
5. Apa konsekuensi dari terjadinya kerusakan tersebut (*failure consequence*)?
6. Apa yang dilakukan untuk memprediksi dan mencegah terjadinya masing-masing kerusakan (*proactive task and task interval*)?

7. Apa yang harus dilakukan jika kegiatan proaktif yang sesuai tidak bisa ditemukan (*default action*)?

2.4.1. Functional Block Diagram

Functional Block Diagram mendeskripsikan tentang fungsi dari setiap komponen dalam suatu sistem produksi.

2.4.2. Function and Function Failure

System function didefinisikan sebagai fungsi dari komponen atau peralatan yang diharapkan oleh penggunaannya tetapi masih dalam level kemampuan komponen tersebut sejak saat dibuat. Sedangkan *Function Failure* adalah ketidak mampuan suatu aset dalam menjalankan fungsi sesuai *performance* yang diharapkan oleh penggunaannya (Moubray 1997:8).

2.4.3. Failure Mode and Effect Analysis

Failure Mode adalah segala sesuatu yang menyebabkan suatu aset atau sistem menjadi rusak. *Failure Effect* menjelaskan dampak yang ditimbulkan ketika *failure mode* terjadi. Semua proses identifikasi tersebut dituangkan dalam *FMEA Diagram*. Dalam *FMEA Diagram* ada beberapa kolom yang harus diisi, kolom tersebut antara lain : *Function* (fungsi item/komponen mesin), *Function Failure* (kerusakan yang terjadi), *Failure Mode* (penyebab kerusakan), dan *Failure Effect* (dampak yang terjadi ketika ada kerusakan) (Moubray 1997:53).

Tabel 2.1 *FMEA Diagram*

RCM INFORMATION WORKSHEET		<i>System :</i>	<i>Facilitator :</i>
		<i>Sub System :</i>	<i>Auditor :</i>
<i>Function</i>	<i>Function failure</i>	<i>Failure Mode</i>	<i>Failure Effect</i>
	<i>(loss of function)</i>	<i>(cause of failure)</i>	
F	FF	FM	

Sumber : Moubray (1997:89)

2.4.4. *Failure Consequence*

Failure Consequence merupakan konsekuensi dari kegagalan yang terjadi apabila suatu sistem tidak dapat menjalankan fungsinya. Konsekuensi tersebut dibagi menjadi empat yaitu (Moubray (1997 :10)):

1. *Hidden Failure Consequence*, adalah konsekuensi kegagalan yang terjadi tersebut tidak bisa dibuktikan secara langsung, tetapi akan menyebabkan kegagalan yang serius.
2. *Safety Environment Consequence*, adalah konsekuensi kegagalan yang dapat menyebabkan seseorang terluka atau terbunuh.
3. *Operational Consequence*, adalah konsekuensi kegagalan yang dapat berakibat pada produksi (*output*, kualitas produk, dan biaya operasional).
4. *Non-operational Consequence*, adalah konsekuensi kegagalan yang berdampak langsung pada biaya perbaikan.

2.4.5. *Proactive Maintenance Task*

Proactive Maintenance Task adalah tindakan perawatan yang diambil sebelum kegagalan terjadi, yang bertujuan untuk mencegah terjadinya kerusakan yang lebih serius. *Proactive Maintenance Task* biasa dikenal dengan *Predictive Maintenance*. Dalam RCM kegiatan *Proactive Maintenance Task* dibagi menjadi tiga (Moubray (1997:13)) yaitu:

- a) *Scheduled Restoration Task*, adalah tindakan yang diambil untuk memulihkan kemampuan suatu aset atau item sebelum batas umur dari komponen tersebut, tanpa memperhatikan kondisi saat itu.
- b) *Scheduled Discard Task*, adalah tindakan yang diambil untuk mengganti suatu aset atau item sebelum batas umur dari komponen tersebut, tanpa memperhatikan kondisi saat itu.
- c) *Scheduled On-condition Task*, adalah tindakan yang diambil untuk mendeteksi potensi kegagalan, sehingga bisa diambil suatu tindakan yang bisa mencegah terjadinya kegagalan tersebut.

2.4.6. *Default Action*

Default Action diambil apabila suatu tindakan *Proactive Maintenance Task* tidak dapat ditemukan untuk mengurangi resiko kegagalan yang disebabkan oleh *Hidden*

Failure, Safety and Environment, dan Operational Consequence (Moubray (1997:14)).

Default Action antara lain :

- a) *Failure Finding*, meliputi kegiatan pengecekan fungsi-fungsi tersembunyi secara periodic untuk mengetahui apakah item tersebut telah rusak.
- b) *Redesign*, adalah membuat suatu perubahan untuk membangun kembali suatu sistem.
- c) *No Scheduled Maintenance (Run to Failure)*, tidak diambil suatu tindakan apapun untuk mencegah adanya kegagalan. Tindakan ini hanya melihat kegagalan yang terjadi kemudian memperbaikinya.

2.4.7. RCM Decision Worksheet

Setelah ketujuh pertanyaan dalam *RCM* dijawab, semuanya dituangkan dalam *FMEA Diagram* dan dicatat dalam *RCM Worksheet* (Moubray (1997:198)).



2.4.7.1 RCM Worksheet

Tabel 2.2 RCM Worksheet

RCM INFORMATION WORKSHEET										Sub System :			Facilitator :		
										System :			Auditor :		
Information Reference			Consequence Evaluation				H1	H2	H3	Default Action			Propose Task	Initial Interval	Can be done by
							S1	S2	S3						
							O1	O2	O3						
F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4			

Sumber : Moubray (1997:199)

Keterangan :

a) *Information Reference*

Berisi informasi tentang kegagalan yang tercantum dalam *FMEA Diagram*. Yang terdiri dari kolom F (*failure*), FF (*function failure*), dan FM (*failure mode*).

b) *Consequence Evaluation*

Kolom ini berisi tentang konsekuensi atau dampak dari kegagalan yang terjadi.

Yang terdiri dari kolom :

- H : kolom ini menunjukkan dampak dari *hidden failure*.
- S : kolom ini menjelaskan dampak dari *safety*.
- E : kolom ini menjelaskan dampak dari *environmental*.

- O : kolom ini menunjukkan dampak pada produksi.

Tabel 2.3 *Failure Consequence*

<i>Failure Consequence</i>	Keterangan	
	Yes	No
Kolom H (<i>Hidden Failure</i>)	<i>Failure Mode</i> diketahui secara langsung oleh operator dalam kondisi normal	<i>Failure Mode</i> tidak diketahui secara langsung oleh operator dalam kondisi normal
Kolom S (<i>Safety</i>)	<i>Failure Mode</i> berdampak pada keselamatan kerja operator	<i>Failure Mode</i> tidak berdampak pada keselamatan kerja operator
Kolom E (<i>Environment</i>)	<i>Failure Mode</i> berdampak pada keselamatan/kelestarian lingkungan	<i>Failure Mode</i> tidak berdampak pada keselamatan/kelestarian lingkungan
Kolom O (<i>Operational</i>)	<i>Failure Mode</i> berdampak pada <i>output</i> produksi	<i>Failure Mode</i> tidak berdampak pada <i>output</i> produksi

Sumber : Moubray (1997:109)

c) *Proactive Task*

Kolom ini digunakan untuk mencatat kegiatan *proactive task* yang telah dipilih.

Dalam kolom *proactive task* dibagi menjadi 3 kolom, yaitu :

- H1/S1/O1/N1 : digunakan untuk mencatat apakah *scheduled on-condition task* yang cocok bisa meminimalkan dampak dari kegagalan.
- H2/S2/O2/N2 : digunakan untuk mencatat apakah *scheduled restoration task* yang cocok bisa mengurangi kegagalan.
- H3/S3/O3/N3 : digunakan untuk mencatat apakah *scheduled discard task* bisa mengurangi kegagalan.

d) *Default Action*

Dalam kolom ini terdapat tiga kolom yang digunakan untuk mencatat ketiga pertanyaan dari *default action*.

- H4 : mencatat apakah *failure finding* task secara teknis mungkin bisa digunakan?
- H5 : mencatat apakah kegagalan bisa mempengaruhi keselamatan lingkungan?
- S4 : mencatat apakah *combination task* mungkin dilakukan?

Tabel 2.4 *Proactive Task and Default Action*

Proactive Task	Persyaratan Kondisi
Kolom H ₁ /S ₁ /O ₁ /N ₁ <i>Scheduled on Condition task</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Apakah <i>potensial failure (PF interval)</i> dapat diketahui secara pasti dalam kondisi normal? • Apakah dalam interval waktu tersebut cukup untuk melakukan tindakan pencegahan?
Kolom H ₂ /S ₂ /O ₂ /N ₂ <i>Scheduled Restoration task</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Dapat diidentifikasi umur dimana <i>item</i> tersebut menunjukkan kemungkinan penambahan kecepatan terjadinya kondisi kegagalan • Mayoritas dari <i>item</i> dapat bertahan pada umur tersebut (untuk semua <i>item</i>) jika kegagalan memiliki konsekuensi terhadap keselamatan lingkungan • Memperbaiki dengan subsystem yang tahan terhadap kegagalan tersebut

<p>Kolom H₃/S₃/O₃/N₃</p> <p><i>Scheduled Discard task</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Dapat diidentifikasi umur dimana item tersebut menunjukkan kemungkinan penambahan kecepatan terjadinya kondisi kegagalan • Mayoritas dari item dapat bertahan pada umur tersebut (untuk semua <i>item</i>) jika kegagalan memiliki konsekuensi terhadap keselamatan lingkungan
<p>Kolom H₄</p> <p><i>Scheduled Failure Finding task</i></p>	<p><i>Hidden failure</i> dapat dicegah bila <i>failure mode</i> dapat dideteksi secara teknis</p>
<p>Kolom H₅</p> <p><i>Redesign</i></p>	<p><i>Hidden failure</i> dapat dicegah hanya dengan jalan melaksanakan perubahan design pada mesin</p>
<p>Kolom S₄</p> <p><i>Combination task</i></p>	<p><i>Safety effect</i> dapat dicegah apabila kombinasi aktivitas antar <i>proactive task</i> dilakukan</p>

Sumber : Moubray (1997:205)

e) *Proposed Task*

Apabila *proactive task* telah dipilih, maka diskripsi dari tindakan pencegahan yang akan diambil dimasukkan dalam kolom *proposed task*.

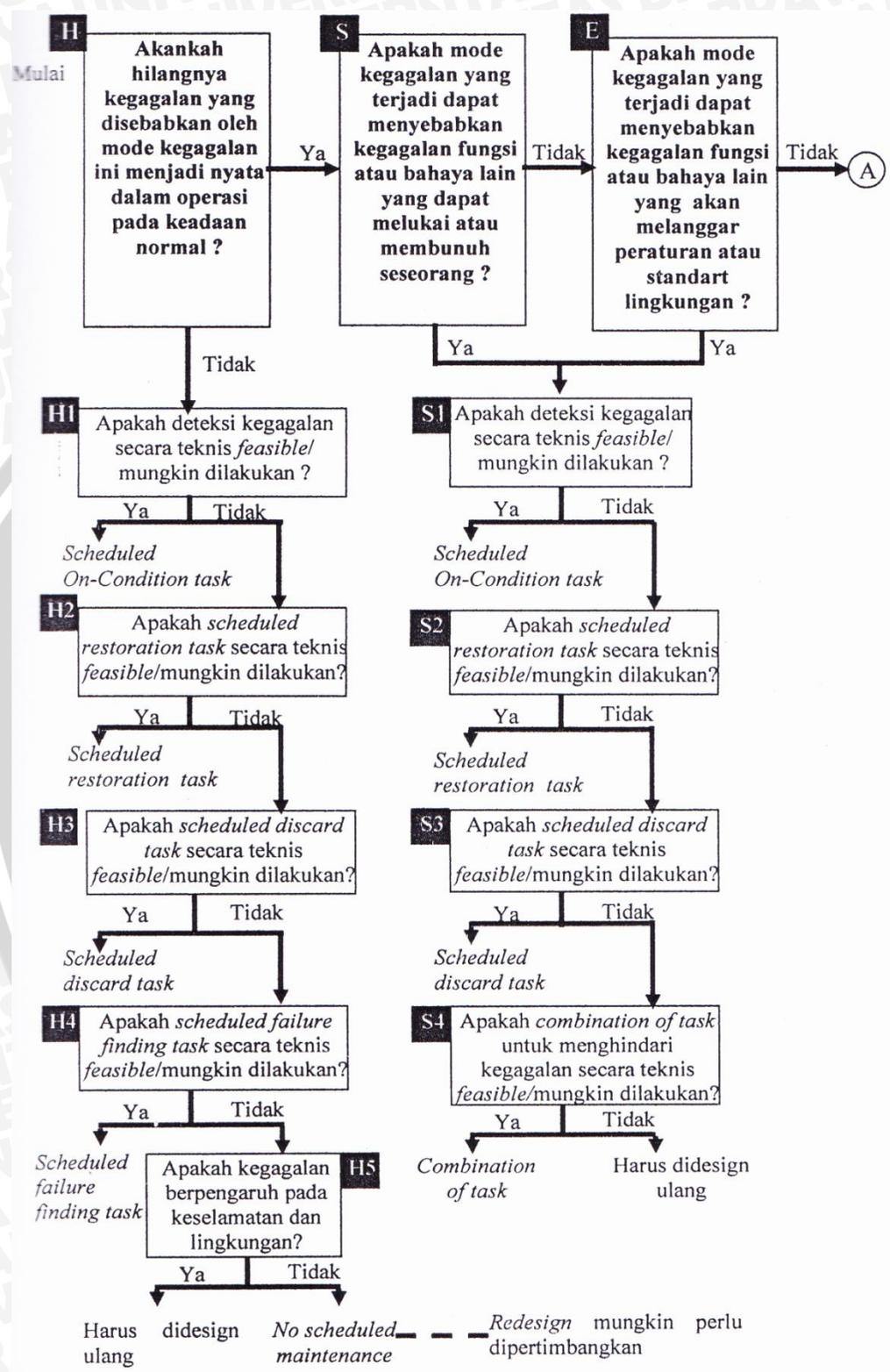
f) *Initial Interval*

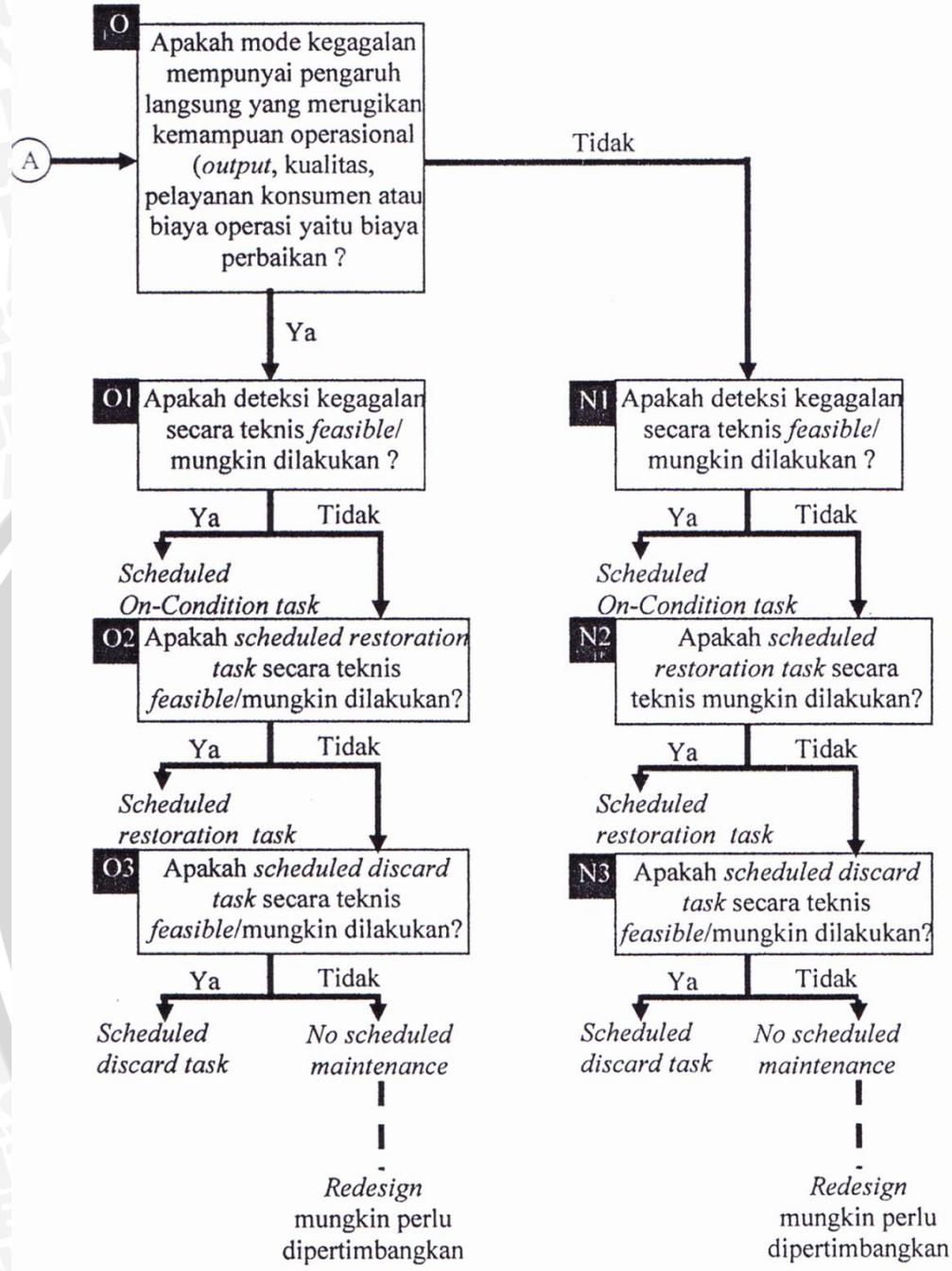
Interval perawatan yang dipilih merupakan interval optimum. Apakah interval perawatan tersebut harian, mingguan, atau bulanan.

g) *Can Be Done By*

Kolom terakhir dalam *RCM Worksheet* ini digunakan untuk mencatat siapa yang bisa melakukan tindakan perawatan tersebut. Bisa operator atau mekanik.

2.4.7.2. RCM II Decision Diagram





Gambar 2.4 : RCM Decision Diagram

Sumber : (Moubray 1997 :200)

2.5. Konsep *Reliability*

2.5.1. Definisi *Reliability*

Reliability diartikan sebagai probabilitas dari suatu komponen sistem yang akan berfungsi selama selang waktu periode t (Charles E. Ebeling (1997:23)).

2.5.2. Fungsi *Reliability*

Pada suatu kondisi tertentu, *reliability* didefinisikan sebagai probabilitas bahwa sistem dapat memenuhi fungsi-fungsi yang diharapkan dalam selang waktu tertentu.

Jika variable random t adalah waktu yang diperlukan sejak sistem/fasilitas beroperasi (setelah mengalami perbaikan) sampai sistem mengalami kegagalan (*time to failure*) dan jika *probability density function (pdf)* dari *time to failure* t adalah $f(t)$, maka bisa didefinisikan (Lewis (1987:81)) :

$$f(t)\Delta t = P\{t \leq t \leq t + \Delta t\} : \text{probabilitas bahwa kegagalan akan terjadi pada waktu antara } t \text{ sampai dengan } t + \Delta t. \quad (2-1)$$

dan fungsi distribusi kumulatif (*cumulative distribution function / cdf*) dari $f(t)$ adalah :

$$F(t) = P\{t \leq t\} : \text{probabilitas yang mana kegagalan akan terjadi pada selang } t \leq t \quad (2-2)$$

$$F(t) = \int_0^1 f(t')dt$$

sehingga keandalannya adalah :

$$R(t) = P\{t > t\} : \text{probabilitas yang mana sistem akan beroperasi tanpa mengalami kegagalan dalam selang waktu } 0 \text{ sampai } t \quad (2-3)$$

Karena sistem tidak mengalami kegagalan pada saat $t \leq t$, dan akan gagal pada $t > t$ maka:

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 - \int_0^t f(t')dt' , \text{ atau} \quad (2-4)$$

$$R(t) = \int_t^\infty f(t')dt' \quad (2-5)$$

Dari sifat-sifat *pdf* diketahui bahwa

$$R(0) = \int_0^\infty f(t')dt' = 1, \text{ karena } t > 0 \text{ dan} \quad (2-6)$$

$$R(\infty) = \int_0^{\infty} f(t') dt' = 0 \quad (2-7)$$

Bentuk lain dari *pdf* untuk *time to failure* dalam bentuk fungsi keandalan dapat diperoleh dengan menurunkan ke t Persamaan (2-4) :

$$\frac{d}{dt} [R(t)] = \frac{d}{dt} [1 - F(t)] \quad (2-8)$$

$$\frac{d}{dt} R(t) = -\frac{dF(t)}{dt}$$

$$\frac{d}{dt} R(t) = -f(t) \quad (2-9)$$

2.5.3. Laju Kerusakan ($\lambda(t)$)

Laju kerusakan didefinisikan sebagai banyaknya kerusakan persatuan waktu yang dinotasikan dengan $\lambda(t)$. Jika $\lambda(t)\Delta t$ adalah probabilitas bahwa suatu sistem mengalami kegagalan pada $t < t + \Delta t$ dan mengalami kegagalan pada $t > t$. Maka didapatkan :

$$\lambda(t)\Delta t = P\{t < t + \Delta t | t > t\} \quad (2-10)$$

atau

$$\lambda(t) = \frac{P\{t < t + \Delta t | t > t\}}{\Delta t} \quad (2-11)$$

$$\lambda(t)\Delta t = P\{t < t + \Delta t | t > t\}$$

$$\lambda(t)\Delta t = \frac{P\{(t < t + \Delta t) \cap (t > t)\}}{P(t > t)}$$

$$\lambda(t)\Delta t = \frac{P(t < t + \Delta t)}{P(t > t)}$$

$$\lambda(t)\Delta t = \frac{f(t)\Delta t}{R(t)} \quad (2-12)$$

$$\lambda(t)\Delta t = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2-13)$$

Laju kerusakan lebih dikenal dengan *Hazard Function*. Persamaan fungsi *reliability* dapat dinyatakan dengan laju kerusakan dengan mensubstitusikan persamaan (2-9) dengan persamaan (2-13). Sehingga didapatkan :

$$\lambda(t) = -\frac{1}{R(t)} \frac{d}{dt} R(t) \quad (2-14)$$

atau

$$\lambda(t)dt = -\frac{dR(t)}{R(t)} \quad (2-15)$$

Dengan mengintegrasikan persamaan (2-15) antara 0 sampai dengan t, maka :

$$\begin{aligned} \int_0^t \lambda(t')dt' &= -\int_0^t \frac{dR(t')}{R(t')} = -\ln R(t') \Big|_0^t \\ &= -\ln R(t) + \ln R(0) \end{aligned}$$

Karena nilai $R(0) = 1$ maka, dari persamaan diatas didapat hubungan laju kegagalan terhadap fungsi keandalan sebagai berikut (E. E. Lewis, 1987:83) :

$$\int_0^t \lambda(t')dt' = -\ln [R(t)] \quad (2-16)$$

atau

$$R(t) = \exp \left[-\int_0^t \lambda(t')dt' \right] \quad (2-17)$$

Dengan memasukkan persamaan (2-17) ke persamaan (2-13) maka didapatkan fungsi densitas :

$$f(t) = \lambda(t)e^{(-\int_0^t \lambda(t')dt')} \quad (2-18)$$

2.5.4. Mean Time To Failure (MTTF)

Reliability sering dinyatakan dengan angka ekspektasi masa pakai yang dinotasikan dengan $E(t)$ dan sering disebut dengan *MTTF*. Secara matematis dituliskan (E. E. Lewis (1987:83)) :

$$MTTF = \int_0^{\infty} tf(t)dt \quad (2-19)$$

dengan mensubstitusikan persamaan (2-9) didapatkan :

$$MTTF = -\int_0^{\infty} t \frac{dR(t)}{dt} dt = -\int_0^{\infty} t dR(t) \quad (2-20)$$

$$MTTF = -tR(t)|_0^\infty + \int_0^\infty R(t)dt$$

$$MTTF = -\infty R(\infty) + 0R(0) + \int_0^\infty R(t)dt$$

$$MTTF = 0 + 0 + \int_0^\infty R(t)dt$$

sehingga persamaan menjadi :

$$MTTF = \int_0^\infty R(t)dt \tag{2-21}$$

2.5.5. Fungsi Distribusi Probabilitas dari Waktu Kerusakan (*Time to Failure*)

Jika t adalah waktu antar kerusakan (*time to failure*), maka distribusi probabilitas dari t antara lain adalah:

a) Distribusi Weibull

Distribusi Weibull biasa digunakan untuk menghitung umur atau masa pakai dari peralatan. Beberapa persamaan yang digunakan antara lain (E. E. Lewis (1987:97)):

Fungsi Densitas Probabilitas (*pdf*) :

$$f(t) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{t}{\beta}\right)^{\alpha-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha\right] \tag{2-22}$$

Keterangan :

α = parameter bentuk

β = parameter skala

Fungsi Distribusi Kumulatif (*cdf*) :

$$F(t) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha\right) \tag{2-23}$$

Fungsi Keandalan :

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha\right] \tag{2-24}$$

Laju Kerusakan :

$$\lambda(t) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{t}{\beta}\right)^{\alpha-1} \tag{2-25}$$

MTTF (Mean Time To Failure)

$$MTTF = \beta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right) \tag{2-26}$$

b) Lognormal

Distribusi ini biasa digunakan untuk menyatakan distribusi kerusakan untuk waktu yang bervariasi. Dalam distribusi ini ada beberapa persamaan (E. E. Lewis 1987:94), antara lain :

Fungsi Densitas Probabilitasnya (*pdf*) :

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma t}} \exp\left\{-\frac{1}{2\sigma^2} \left[\ln\left(\frac{t}{t_0}\right)\right]^2\right\} \quad (2-27)$$

Fungsi Distribusi Kumulatif (*cdf*) :

$$F(t) = \Phi\left[\frac{1}{\sigma} \ln\left(\frac{t}{t_0}\right)\right] \quad (2-28)$$

Fungsi Keandalan :

$$R(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma t}} \int_t^{\infty} \frac{1}{(t-t_0)} e^{\left[\frac{(\ln(t-t_0)-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]} \quad (2-29)$$

Laju kerusakan :

$$\lambda(t) = \frac{\exp\left\{-\frac{1}{2\sigma^2} \left[\ln\left(\frac{t}{t_0}\right)\right]^2\right\}}{\int_1^{\infty} \left[\frac{1}{t-\theta}\right] \exp\left[-\frac{(\ln(t-\theta)-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] dt} \quad (2-30)$$

MTTF (Mean Time To Failure) :

$$MTTF = t_0 \exp\left(\frac{\sigma^2}{2}\right) \quad (2-31)$$

c) Eksponensial

Pada distribusi eksponensial ini laju kerusakan adalah konstan untuk sistem yang bekerja secara kontinyu. Dalam distribusi eksponensial ada beberapa persamaan yang digunakan (E. E. Lewis 1987:87), antara lain :

Fungsi Densitas Probabilitasnya (*pdf*) :

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (2-32)$$

Fungsi Ditribusi Kumulatif (*cdf*) :

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (2-33)$$

Fungsi Keandalan :

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (2-34)$$

Laju Kerusakan

$$\lambda(t) = \lambda \quad (2-35)$$

MTTF (Mean Time To Failure) :

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad (2-36)$$

2.5.6. Kurva *Bathtub*

Kurva *Bathtub* menggambarkan perilaku laju kegagalan sistem terhadap waktu. Kurva ini menunjukkan bahwa komponen yang beroperasi dalam suatu sistem, suatu waktu pasti akan gagal sampai pada akhirnya perlu adanya pergantian komponen.

Pada kurva ini terdapat tiga periode antara lain :

a) *Wear-In Periode*

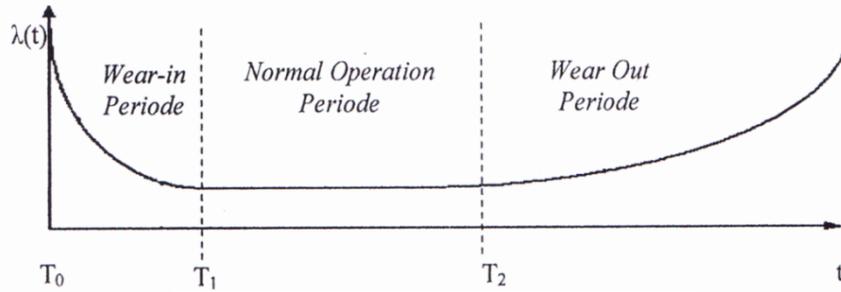
Periode ini sering disebut periode kerusakan awal, karena kerusakan yang terjadi biasanya disebabkan oleh materi komponen itu ataupun kesalahan dari pabrik pada proses produksi. Pada periode ini kemungkinan mengalami rusak pada hari ini lebih besar dari hari yang akan datang, jadi jika tidak mengalami kerusakan pada hari ini, maka akan bertambah baik pada hari yang akan datang.

b) *Normal Operation Periode*

Periode ini adalah periode dimana peralatan yang digunakan sesuai fungsi sesungguhnya. Periode ini ditandai dengan laju kerusakan yang relative konstan, dimana laju kerusakan tidak berubah walaupun umur alat semakin bertambah. Kemungkinan rusak pada saat yang sama, dan sebagian besar masa operasi alat merupakan periode ini tergolong komponen yang mampu rawat.

c) *Wear-Out Periode*

Periode ini adalah periode dimana komponen telah dioperasikan selama sekian periode dalam masa hidupnya. Pada periode ini laju kegagalan komponen bertambah seiring dengan waktu, artinya komponen yang masuk periode ini sudah tidak layak pakai dan harus diadakan penggantian. Pada periode ini kemungkinan rusak pada hari ini lebih kecil dari hari yang akan datang, sehingga komponen tersebut harus mengalami *Overhaul*.



Gambar 2.5 Kurva *Bathtub*
 Sumber: (John Moubray 1997:249)

Probabilitas dari komponen untuk mengalami kegagalan pada interval waktu antara t dan $t + \Delta t$, jika komponen itu diketahui berfungsi pada saat t dapat diekspresikan dalam bentuk fungsi distribusi kumulatif sebagai $F(t + \Delta t) - F(t)$ sehingga menjadi :

$$P(t < T < t + \Delta t) = \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{R(t)} \quad (\text{Ebeling, 1997:29}) \quad (2-37)$$

Dengan interval waktu Δt dan membuat $\Delta t \rightarrow 0$, maka akan diperoleh laju kegagalan dari suatu komponen dan diekspresikan dengan notasi $z(t)$

$$z(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{\Delta t} \cdot \frac{1}{R(t)} \quad (\text{Ebeling (1997:29)}) \quad (2-38)$$

$$z(t) = \frac{F(t)}{R(t)} \quad (\text{Ebeling (1997:29)}) \quad (2-39)$$

Persamaan (2.8) disubstitusikan ke persamaan (2.3) menjadi :

$$z(t) = - \frac{1}{R(t)} \cdot \frac{dR(t)}{dt} \quad (\text{Ebeling (1997:29)}) \quad (2-40)$$

Kedua ruas 0 sampai t diintergralkan dan disubstitusikan dengan $R(0) = 1$ menjadi:

$$\int_0^t z(t)dt = - \ln R(t) \quad (\text{Ebeling (1997:29)}) \quad (2-41)$$

$$\text{Atau } R(t) = e^{-\int_0^t z(u) du} \quad (\text{Ebeling (1997:29)}) \quad (2-42)$$

Untuk laju kegagalan yang konstan, $z(t) = \lambda$ maka berubah menjadi :

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (\text{Ebeling (1997:29)}) \quad (2-43)$$

