

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Rina Dwi Hartanti (2006), dalam penelitiannya mengungkapkan bahwa permasalahan yang dihadapi oleh PT Pupuk Kalimantan Timur Tbk adalah menentukan jenis perawatan mesin yang terjadwal sesuai keadaan perusahaan dan menentukan interval perawatan yang optimal sehingga menghasilkan biaya total perbaikan dan perawatan yang minimal.

Penelitian ini dimulai dengan pemilihan mesin kritis dari 10 sampel 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 penelitian ini didapatkan 2 mesin kritis yang menjadi fokus penelitian, yaitu : mesin *Lean Solution Pump* dan *Hydraulic Turbin*. Dengan *RCM* didapatkan kebijakan *Scheduled Restoration Task* dan *Scheduled Disacard Task*. Dari penelitian ini didapatkan penurunan biaya untuk perawatan tiap komponen, antara 11,9 % sampai 59,9 %.

Aan Budi 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 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.

2.2.1 Pengertian dan Tujuan Perawatan

Menurut Moubray (1997:7), perawatan adalah upaya yang dilakukan untuk menjamin suatu asset dapat bekerja secara kontinu sesuai yang diinginkan penggunaannya. Menurut pendapat Corder (1992:4), perawatan adalah suatu kombinasi dari setiap tindakan yang dilakukan untuk menjaga suatu barang dalam, atau memperbaikinya sampai pada kondisi yang bisa diterima. Sedangkan menurut pendapat Sofyan Assauri (1987:89), 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.

Adapun tujuan utama dari pemeliharaan menurut 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.

2.2.2 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*).

2.3 Reliability Centered Maintenance

Menurut Moubray (1997:7), *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 penggunaannya. Sedangkan menurut Rili Hutabarat *RCM* adalah sebuah proses sistematis yang harus dilakukan untuk menjamin seluruh fasilitas fisik dapat beroperasi dengan baik sesuai dengan desain dan fungsinya. 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.

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*)?

2.3.1 Functional Block Diagram

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

2.3.2 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 ketidakmampuan suatu aset dalam menjalankan fungsi sesuai *performance* yang diharapkan oleh penggunaannya (Moubray 1997:8)

2.3.3 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				System :		Facilitator :	
				Sub System :		Auditor :	
<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)

2.3.4 Failure Consequence

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

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.

2.3.5 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, yaitu : (Moubray (1997:13)).

- 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.

2.3.6 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) *Redisign*, 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.

2.3.7 RCM Decision Worksheet

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

2.3.7.1 RCM Worksheet

Tabel 2.2 *RCM Worksheet*

RCM INFORMATION WORKSHEET													Sub System :			Facilitator :	
													System :			Auditor :	
Information Reference			Consequence Evaluation				H ₁	H ₂	H ₃	Default Action			Propose Task	Initial Interval	Can be done by		
							S ₁	S ₂	S ₃								
F	FF	FM	H	S	E	O	O ₁	O ₂	O ₃	N ₁	N ₂	N ₃	H ₄	H ₅	S ₄		

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
Kolom H ₃ /S ₃ /O ₃ /N ₃ <i>Scheduled Discard 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
Kolom H ₄ <i>Scheduled Failure Finding task</i>	<i>Hidden failure</i> dapat dicegah bila <i>failure mode</i> dapat dideteksi secara teknis
Kolom H ₅ <i>Redesign</i>	<i>Hidden failure</i> dapat dicegah hanya dengan jalan melaksanakan perubahan design pada mesin
Kolom S ₄ <i>Combination task</i>	<i>Safety effect</i> dapat dicegah apabila kombinasi aktivitas antar <i>proactive task</i> dilakukan

Sumber : Moubray (1997:205)

e) *Proposed Task*

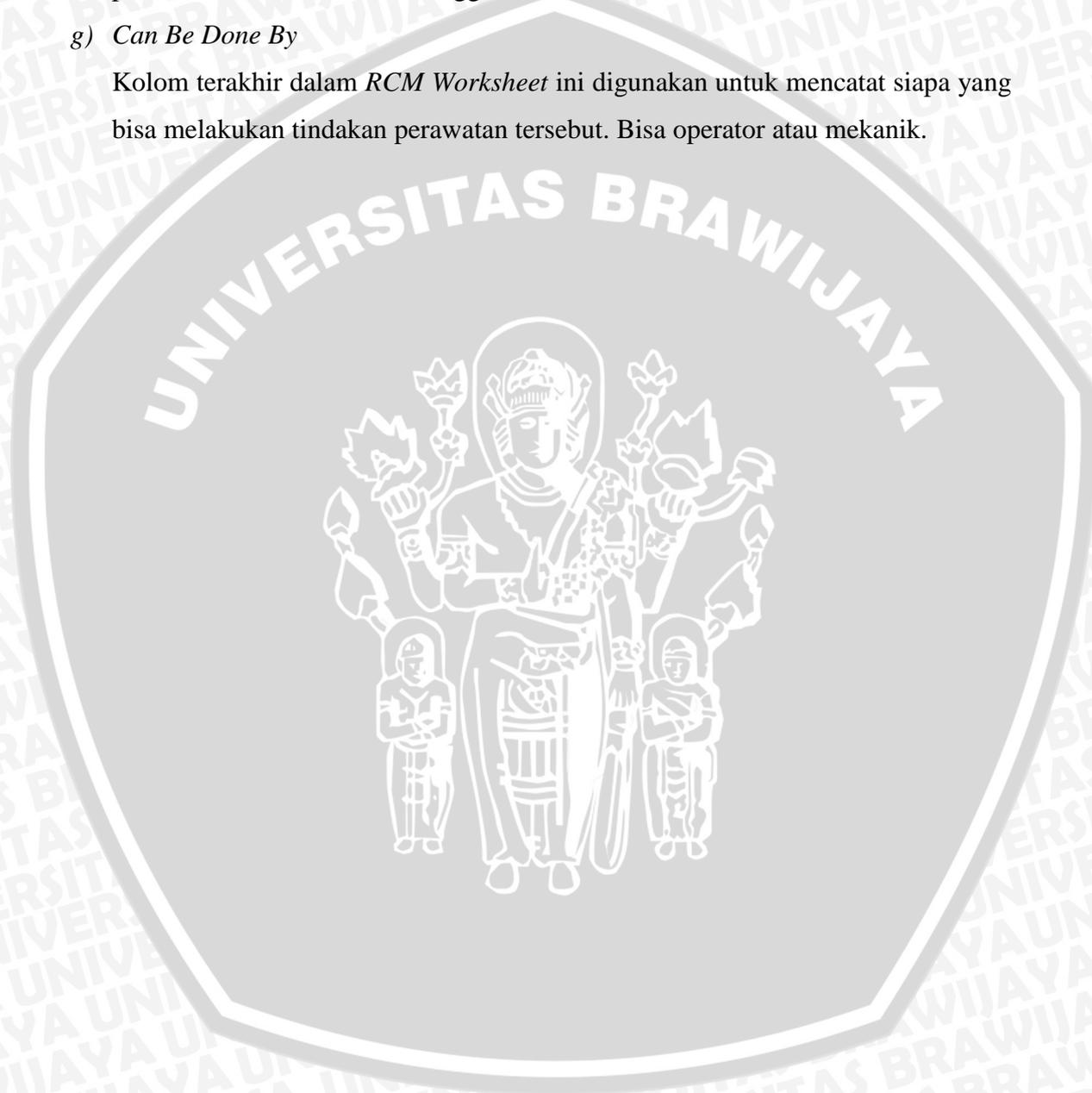
Apabila proactive task telah dipilih, maka diskripsi dari tindakan pencegahan yang akan diambil dimasukkan dalam kolom proposed task.

f) *Initial Interval*

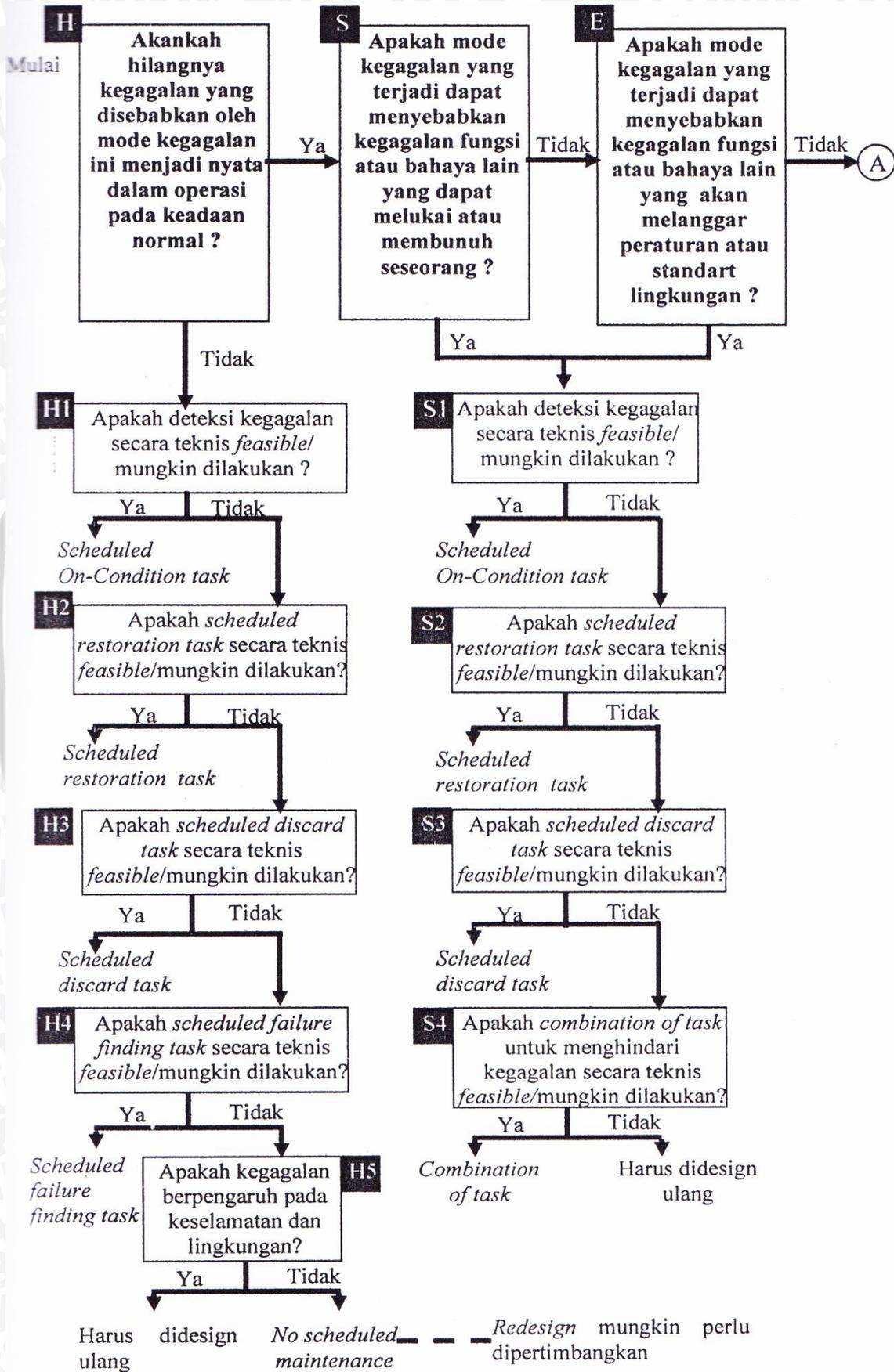
Interval perawatan yang dipilih merupakan interval optimum. Apakah interval perawatan tersebut harian, mingguan, atau bulanan.

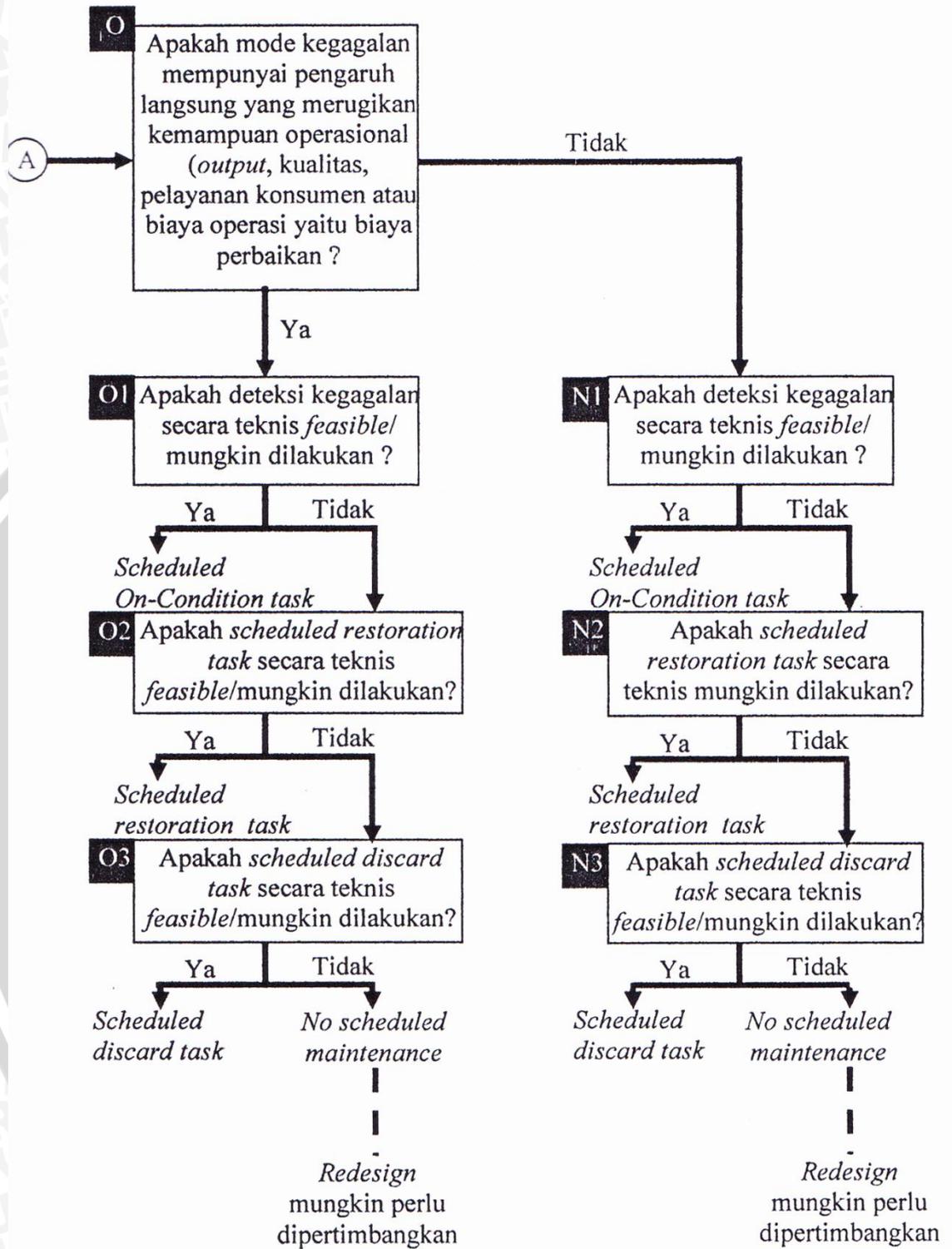
g) *Can Be Done By*

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



2.3.7.2 RCM Decision Diagram





Gambar 2.1 : RCM Decision Diagram
 Sumber : (Moubray 1997 :200)



2.4 Konsep *Reliability*

2.4.1 Definisi *Reliability*

Reliability terjemahan Indonesianya adalah keandalan, *reliable* berarti handal, Namun definisi formalnya dari *reliability* adalah : peluang sebuah komponen, sub-sistem atau sistem melakukan fungsinya dengan baik, seperti yang dipersyaratkan, dalam kurun waktu tertentu dan dalam kondisi operasi tertentu pula (Taufik).

2.4.2 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 :

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

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

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:

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

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

Dari sifat-sifat *pdf* diketahui bahwa

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

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

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

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

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

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

2.4.3 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 mengintegalkan 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 :

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

2.4.4 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 :

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

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

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

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

sehingga persamaan menjadi :

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

2.4.5 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*) :

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

Keterangan :

α = parameter bentuk

β = parameter skala

Fungsi Distribusi Kumulatif (*cdf*) :

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

Fungsi Keandalan :

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

Laju Kerusakan :

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

MTTF (*Mean Time To Failure*)

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

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) Ekspensial

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*) :

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

2.4.6 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

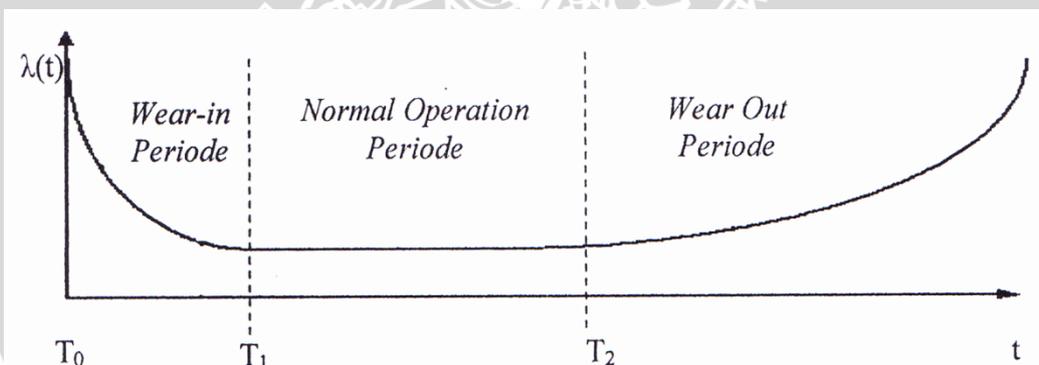
pada proses produksi. Pada periode ini kemungkinan mengalami rusak pada hari ini lebih besar dari hari yang akan datang, jadi jika tidak mengalami kerusakan pada hari ini, maka akan bertambah baik pada hari yang akan datang.

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 2.2 : Kurva *Bathtub*

Sumber : (John moubray 1997:249)

2.4.7 Perhitungan Biaya

a) *Konsekuensi Operasional (CO)*

Konsekuensi operasional merupakan kerugian produksi atau keuntungan yang hilang karena mesin tidak berproduksi. Ini bisa terjadi baik karena pemeliharaan atau kerusakan mesin. Biaya kerugian produksi akibat *downtime* dapat dihitung sebagai berikut :

$$CO = \text{kapasitas produksi} \times \text{harga gula per kilogram} \times \text{randemen (Rp/jam)} \quad (2-37)$$

b) Biaya perbaikan (CR)

Merupakan biaya yang dikeluarkan untuk memperbaiki komponen yang meliputi: biaya penggantian komponen, biaya tenaga kerja dan biaya konsekuensi operasional.

$$CR = CF + CV \times MTTR \quad (\text{Rp}) \quad (2-38)$$

Keterangan :

CV = biaya tenaga kerja (CW) + biaya konsekuensi operasional (CO)
(Rp/jam)

CF = biaya penggantian komponen (Rp)

MTTR = *Mean Time To Repair* (jam)

c) Biaya Perawatan (CM)

Biaya yang dikeluarkan secara rutin oleh perusahaan untuk perawatan mesin secara berkala (*PMP*), seperti biaya oli dan zat asam.

2.4.8 Model Matematis Maintenance

Biaya total pemeliharaan merupakan penjumlahan kumulatif biaya kegagalan dan biaya pemeliharaan, maka didapatkan (Havard J. Thevik, 2000) :

$$T_c = CR \cdot f_R + CM \cdot f_M \quad (\text{Rp/jam}) \quad (2-39)$$

$$T_c = CR \left[\frac{1}{TM} \int_0^{TM} \lambda(t) dt \right] + CM \left[\frac{1}{TM} \right]$$

$$T_c = \frac{1}{TM} [CR \int_0^{TM} \lambda(t) dt + CM] \quad (\text{Rp/jam}) \quad (2-40)$$

Jika data berdistribusi Weibull, maka biaya total pemeliharaannya adalah :

$$T_c = \frac{CR}{\beta^\alpha} TM^{\alpha-1} + \frac{CM}{TM} \quad (\text{Rp/jam}) \quad (2-41)$$

Untuk mendapatkan T_c yang minimum dengan $\frac{dT_c}{dTM} = 0$, maka :

$$TM = \left[\frac{\beta^\alpha CM}{CR(\alpha-1)} \right]^{\frac{1}{\alpha}} \quad (\text{jam}) \quad (2-42)$$

Keterangan :

TM = *Initial interval*.

CR = Biaya perbaikan atau pergantian karena rusaknya komponen.

CM = Biaya yang dikeluarkan untuk perawatan (*preventive maintenance*).

f_R = Frekuensi perbaikan perjam.

f_M = Frekuensi perawatan perjam.

T_c = Biaya total yang digunakan untuk perbaikan dan perawatan tiap jam.

