

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Menurut **Tri Wahyuningsih (2010)**, Dalam penelitiannya menjelaskan bahwa sistem produksi dalam sebuah perusahaan akan dapat berjalan dengan baik apabila didukung oleh berbagai aspek, salah satunya adalah kegiatan perawatan terhadap fasilitas kerja yang ada dalam sistem tersebut. Berkaitan dengan hal tersebut, permasalahan yang diangkat pada penelitian ini berkaitan dengan pengembangan sistem perawatan yang ada di PT. Tjkrindo Mas, khususnya pada divisi pipa PVC. Adapun fokus dari penelitian ini yaitu pada mesin *Extruder* dan mesin *Cutting* yang ada pada line produksi 4 yang memproduksi pipa PVC jenis C5/8".

Sedangkan metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *Reliability Centered Maintenance (RCM)* yang bertujuan untuk mendapatkan aktivitas perawatan yang optimal apabila ditinjau dari segi minimasi biaya. Pada metode RCM ini meliputi analisa kualitatif yaitu dengan *Failure Modes and Effect Analysis (FMEA)* dan *Decision Diagram* untuk menentukan jenis kegiatan perawatan yang optimal, dan analisa kuantitatif untuk menentukan interval kegiatan perawatan yang optimal. Secara umum data-data yang diperlukan dalam analisa ini terdiri dari data kerusakan komponen dan kegiatan perawatan yang terjadi pada mesin *Extruder* dan mesin *Cutting*, yang dicatat dalam bentuk *Machine History Record dan Maintenance Activity Report*. Disamping itu, data-data juga diambil dari hasil wawancara dengan pihak manajemen perawatan PI Tjkrindo Mas.

Hasil yang diperoleh dari analisa kualitatif menunjukkan bahwa dari 10 komponen yang menyusun mesin *Extruder* dan mesin *Cutting*, terdapat 8 komponen yang memungkinkan untuk dilakukan jenis perawatan *scheduled on-condition task*, sedangkan komponen sisanya menggunakan jenis perawatan *scheduled discard task*, dan berupa *default action* yaitu *scheduled failure finding task*. Adapun dari analisa kuantitatif menunjukkan bahwa dengan adanya interval perawatan optimal dapat mereduksi biaya perawatan pada 10 komponen yang diteliti meskipun dengan *availability* komponen yang hampir sama, jika dibandingkan dengan interval perawatan sebelumnya. Penurunan biaya perawatan terbesar terjadi pada komponen *screw* pada mesin *Extruder* yaitu sebesar Rp, 8770/jam dengan interval optimalnya setiap 841,5 jam operasi dimana pada awalnya memiliki interval perawatan setiap 42 jam operasi. Pada urutan kedua, terjadi pada

komponen *clamping device* pada mesin *Cutting*, yang diikuti oleh komponen *Temperature Control Unit* milik mesin *Extruder*.

2.2 *Water cooling system* (*Sistem Pendingin Air*)

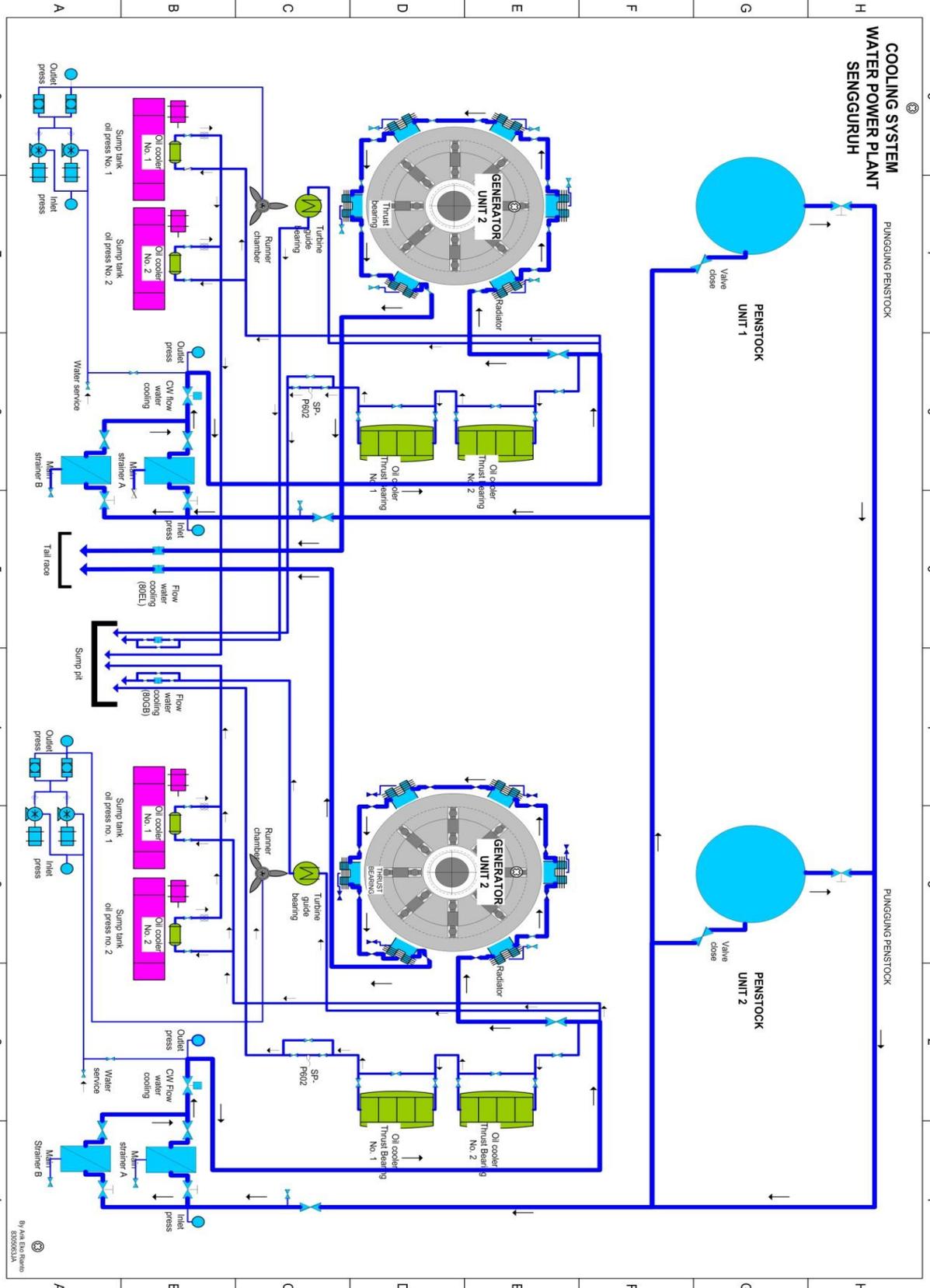
Water cooling system ialah sebuah sistem yang berfungsi sebagai pendingin bagian-bagian / peralatan-peralatan pembangkit listrik tenaga air. Sistem pendingin di PLTA Sengguruh ialah dengan menggunakan aliran air yang dialirkan dari pipa *penstock* untuk mendinginkan temperatur minyak pada bagian-bagian yang perlu didinginkan. Adapun bagian-bagian yang perlu didinginkan ialah :

- a) Ruang generator
- b) Generator guide and thrust bearing
- c) Turbine guide bearing
- d) Sistem minyak bertekanan (*Oil Sump tank*)

Air dialirkan dari *penstock* melalui sebuah pipa. Setelah melalui penyaring (*main strainer*) dan *cooling water valve* barulah air dialirkan ke:

- a) Ruang Generator
- b) *Generator Oil Cooler*
- c) *Turbine Oil Cooler*
- d) *Sump Tank Oil Cooler*

. Setelah air dialirkan ke bagian-bagian yang perlu didinginkan, barulah air dibuang ke *tail race* dan *drainage pit*. Air pendingin dari ruang generator dibuang ke *tail race*. Sedangkan air pendingin dari *generator oil cooler*, *turbine oil cooler*, dan *oil sump tank oil cooler* dibuang ke *drainage pit*.



Gambar 2.1 Skema Water Cooling System PLTA Sengguruh
Sumber : PT. PJB UP Brantas PLTA Sengguruh

2.2.1 Generator Cooler / Radiator

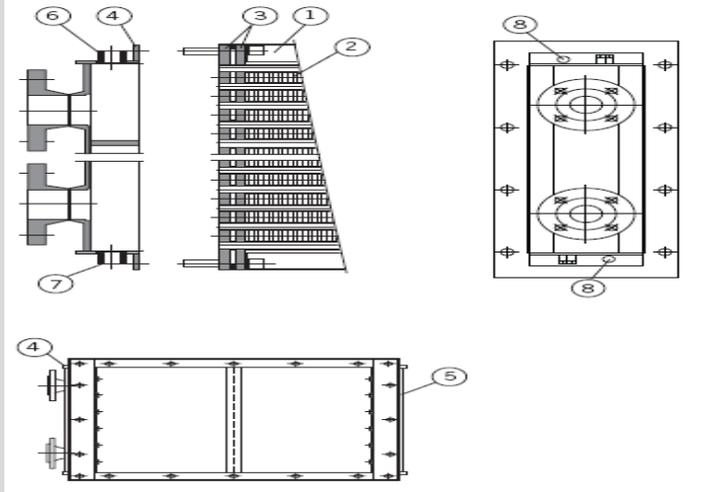


Gambar 2.2 Generator Cooler

Sumber : Luvata “Generator/Motor Cooler QLKE, QDKE, QDKR”.

http://www.luvata.com/Global/Products/HeatTransfer/Special%20Industrial%20Products/Users%20Guide_QLKE_QDKR_EN.pdf

1. Side panel
2. Finned body
3. Tube plate
4. Connection header
5. Return header
6. Venting plug
7. Drain plug
8. Connection for leak detector



Gambar 2.3 Bagian-bagian Generator Cooler

Sumber : “Generator/Motor Cooler QLKE, QDKE, QDKR”.

http://www.luvata.com/Global/Products/HeatTransfer/Special%20Industrial%20Products/Users%20Guide_QLKE_QDKR_EN.pdf

Radiator merupakan salah satu piranti yang penting dalam *water cooling system* suatu unit pembangkit listrik. Radiator ini berfungsi sebagai pendingin generator atau lebih tepatnya lagi untuk menstabilkan suhu generator agar selalu dalam keadaan normal. Dengan adanya radiator, panas berlebih dalam generator dapat dikurangi.

Pada prinsipnya, cara kerja radiator ini menggunakan air yang akan mengalir melalui pipa yang disesain secara khusus untuk mendinginkan secara merata ke dalam ruang generator dan berputar kembali ke radiator. Lewat kisi - kisi pada radiator dan dengan bantuan angin atau kipas inilah pendinginan air didapat dengan maksimal. Inti bahan radiator adalah berupa pipa yang terbuat dari logam seperti kuningan dan tembaga serta alumunium.

2.3 Perawatan

Perawatan di suatu industri merupakan salah satu faktor yang penting dalam mendukung suatu proses produksi yang mempunyai daya saing di pasaran. Produk yang dibuat industri umumnya harus mempunyai kualitas yang baik, harga pantas, dan di produksi serta diserahkan ke konsumen dalam waktu yang cepat. Oleh karena itu, proses produksi harus didukung oleh peralatan yang siap bekerja setiap saat dan handal. Untuk mencapai hal tersebut, maka peralatan penunjang proses produksi harus selalu dilakukan perawatan yang teratur dan terencana.

2.3.1 Pengertian dan Tujuan Perawatan

Perawatan adalah suatu kombinasi dari berbagai tindakan yang dilakukan untuk menjaga suatu barang atau memperbaikinya sampai suatu sistem yang berfungsi pada kondisi yang sebagaimana mestinya. Dibentuknya bagian perawatan dalam suatu perusahaan dengan tujuan agar mesin-mesin industri selalu dalam keadaan siap pakai secara optimal serta untuk menjamin kelangsungan produksi.

Menurut Sofyan Assauri (1999) perawatan adalah kegiatan untuk memelihara atau menjaga fasilitas atau peralatan pabrik dan mengadakan perbaikan atau penyesuaian atau penggantian yang diperlukan agar supaya terdapat suatu keadaan operasi produksi yang memuaskan sesuai dengan apa yang direncanakan. Pada umumnya sebuah produk yang dihasilkan oleh manusia, tidak ada yang tidak mungkin rusak, tetapi usia penggunaannya dapat diperpanjang dengan melakukan perbaikan yang dikenal dengan pemeliharaan. (Corder, Antony, K. Hadi, 1992:4). Oleh karena itu, dalam suatu perusahaan sangat dibutuhkan kegiatan pemeliharaan yang meliputi kegiatan pemeliharaan dan perawatan mesin yang digunakan dalam proses produksi.

Tujuan pemeliharaan yang utama menurut Sofyan Assauri (1999) yaitu :

- 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 membantu mengurangi pemakaian dan penyimpangan yang di luar batas dan menjaga modal yang di investasikan tersebut
- 4) Untuk mencapai tingkat biaya pemeliharaan serendah mungkin, dengan melaksanakan kegiatan pemeliharaan secara efektif dan efisien
- 5) Menghindari kegiatan pemeliharaan yang dapat membahayakan keselamatan para pekerja
- 6) Mengadakan suatu kerja sama yang erat dengan fungsi-fungsi utama lainnya dari suatu perusahaan dalam rangka untuk mencapai tujuan utama perusahaan yaitu tingkat keuntungan (*return on investment*) yang sebaik mungkin dan total biaya yang terendah.

2.3.2 Jenis-jenis Perawatan

Suatu perusahaan selalu memiliki tindakan kegiatan perawatan yang bermacam-macam, mulai dari tindakan perawatan ringan sampai tindakan perawatan yang berat yang mengharuskan penggantian mesin. Berikut ini merupakan jenis-jenis perawatan, yaitu :

1. *Preventive Maintenance* (Perawatan Pencegahan)

Preventive Maintenance merupakan salah satu komponen penting dalam kegiatan perawatan (*maintenance*). *Preventive maintenance* adalah tindakan perawatan yang dilakukan sebelum terjadinya kegagalan atau kerusakan pada sebuah sistem atau komponen, dimana sebelumnya sudah dilakukan perencanaan dengan pengawasan yang sistematis, deteksi, dan koreksi, agar sistem atau komponen tersebut dapat mempertahankan kapabilitas fungsionalnya. Beberapa tujuan dari *preventive maintenance* adalah mendeteksi lebih awal terjadinya kegagalan atau kerusakan, meminimalisasi terjadinya kegagalan dan meminimalkan kegagalan produk yang disebabkan oleh kerusakan sistem. *Preventive Maintenance* dibedakan menjadi 2 macam, yaitu :

- a. *Maintenance Routine* (Perawatan Rutin)

Merupakan kegiatan perawatan yang dilakukan secara rutin, misalnya setiap hari yaitu 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 Berkala)

Merupakan kegiatan perawatan yang dilakukan secara berkala (dalam jangka waktu tertentu), misalnya setiap seminggu sekali meningkat setiap bulan sekali hingga setiap tahun sekali.

Perawatan berkala dapat dilakukan juga dengan memakai lamanya jam kerja mesin (*Running Hour*), misalnya setiap 100 jam kerja mesin. Perawatan ini jauh lebih berat dari perawatan rutin. Sebagai contoh pembongkaran komponen-komponen sistem bahan bakar, penyetelan katup, pembongkaran mesin, Overhaul.

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

Corrective Maintenance merupakan kegiatan perawatan yang dilakukan untuk mengatasi kegagalan atau kerusakan yang ditemukan selama masa waktu *preventive maintenance*. Pada umumnya, *corrective maintenance* bukanlah aktivitas perawatan yang terjadwal, karena dilakukan setelah sebuah komponen mengalami kerusakan dan bertujuan untuk mengembalikan kehandalan sebuah komponen atau sistem ke kondisi semula.

3. *Predictive Maintenance* (Pemeliharaan Prediktif)

Pemeliharaan prediktif ini dilakukan untuk mengetahui terjadinya perubahan atau kelainan dalam kondisi fisik maupun fungsi dari system peralatan. Biasanya pemeliharaan prediktif dilakukan dengan bantuan panca indra atau alat-alat monitor yang canggih.

Pada dasarnya *predictive maintenance* berbeda dengan *preventive maintenance* dengan berdasarkan kebutuhan perawatan pada kondisi aktual mesin dari pada jadwal yang telah ditentukan. Dapat dikatakan bahwa *preventive maintenance* bersifat time-based, seperti penggantian oli setiap 3000 jam kerja. Hal ini tidak memperhatikan performa dan kondisi aktual mesin. Jika dilakukan pemeriksaan, mungkin penggantian oli dapat diperpanjang hingga 5000 jam kerja. Hal ini yang membedakan antara *preventive maintenance* dengan *predictive maintenance* dimana *predictive maintenance* menekankan kegiatan perawatan pada kondisi aktual.

2.4 Keandalan (*Reliability*)

Tindakan pemeliharaan tidak dapat dipisahkan dari keandalan (*Reliability*). Oleh sebab itu, keandalan (*Reliability*) sangat penting bagi tindakan pemeliharaan sendiri

dimana mengetahui tentang keandalan dan hubungannya dengan masalah pemeliharaan akan berdampak pula pada kinerja komponen suatu permesinan.

2.4.1 Pengertian Keandalan (*Reliability*)

Keandalan (*reliability*) didefinisikan sebagai probabilitas bahwa suatu komponen atau sistem akan melakukan fungsi yang diinginkan sepanjang suatu periode waktu tertentu bilamana digunakan pada kondisi-kondisi pengoperasian yang telah ditentukan, atau dalam perkataan yang lebih singkat, keandalan merupakan probabilitas dari ketidak-gagalan terhadap waktu.

Dalam mengevaluasi keandalan, variabel random yang dipakai umumnya adalah waktu dengan :

$$R(t) = P\{T \geq t\} \quad (\text{E. E. Lewis, 1987:81}) \quad (2.1)$$

Dimana : $R(t) \geq 0$, $R(0) = 1$ dan $\lim_{t \rightarrow \infty} R(t) = 0$

$R(t)$ = Probabilitas waktu kegagalan dimana nilainya lebih besar atau sama dengan t

Jika didefinisikan menjadi :

$$F(t) = 1 - R(t) = P\{T < t\} \quad (\text{E. E. Lewis, 1987:81}) \quad (2.2)$$

Dimana : $F(0) = 0$ dan $\lim_{t \rightarrow \infty} F(t) = 1$

$F(t)$ = Probabilitas kegagalan yang terjadi sebelum waktu t

Menurut Ebeling (1997), pada saat $t = 0$ komponen atau sistem berada dalam kondisi akan beroperasi, sehingga probabilitas komponen atau sistem itu untuk mengalami kegagalan pada saat $t = 0$ adalah 0. Pada saat $t = \infty$, probabilitas untuk mengalami kegagalan dari suatu komponen atau sistem yang dioperasikan akan cenderung mendekati 1.

Dengan berpedoman bahwa $R(t)$ sebagai fungsi keandalan dan $F(t)$ sebagai fungsi distribusi kumulatif dari distribusi kegagalan, maka :

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = - \frac{dR(t)}{dt} \quad (\text{E. E. Lewis, 1987:81}) \quad (2.3)$$

Selanjutnya disebut sebagai *probability density function* dimana fungsi ini menggambarkan bentuk dari *failure distribution* yang meliputi $f(t) \geq 0$ dan $\int f(t) dt = 1$

sehingga :

$$F(t) = \int_0^t f(t) dt \quad (\text{E. E. Lewis, 1987:81}) \quad (2.4)$$

$$R(t) = \int_t^{\infty} f(t) dt \quad (\text{E. E. Lewis, 1987:81}) \quad (2.5)$$

Dimana : $f(t)$ = *failure distribution*

2.4.2 Laju Kegagalan

Menurut Ebeling (1997), laju kegagalan adalah banyaknya kegagalan per satuan waktu. Laju kegagalan dapat dinyatakan sebagai perbandingan antara banyaknya kegagalan yang terjadi selama selang waktu tertentu dengan total waktu operasi dari suatu komponen, subsistem atau sistem.

Suatu komponen yang beroperasi dalam suatu sistem dapat digambarkan dalam suatu kurva yang menggambarkan laju kegagalan terhadap waktu. Kurva ini dinamakan kurva *bathtub*. Pada kurva bathtub tersebut ada 3 periode, antara lain :

1) *Wear-In Periode*

Bagian pertama adalah tingkat kegagalan yang turun, yang dikenal sebagai kegagalan awal. Periode 0 sampai dengan T_1 , mempunyai waktu yang pendek pada permulaan bekerjanya peralatan. Kurva menunjukkan bahwa laju kerusakan menurun dengan bertambahnya waktu atau diistilahkan dengan *Decreasing Failure Rate* (DFR). Kerusakan yang terjadi umumnya disebabkan kesalahan dalam proses manufaktur atau desain yang kurang sempurna. Jumlah kerusakan berkurang karena alat yang cacat telah mati kemudian diganti atau cacatnya dideteksi atau direparasi.

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.

2) *Normal Operation Periode*

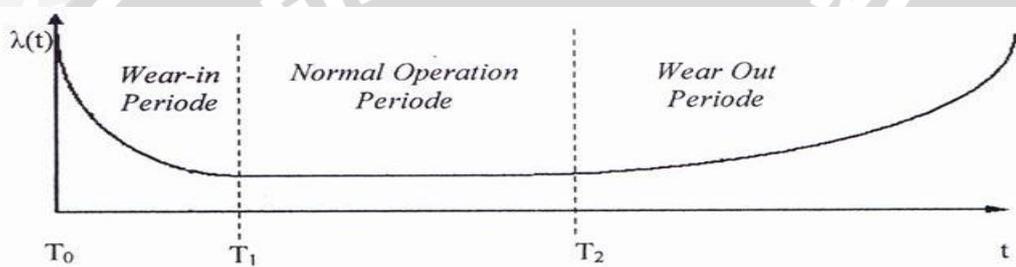
Bagian kedua adalah tingkat kegagalan yang konstan, yang dikenal sebagai kegagalan. Periode T_1 sampai T_2 mempunyai laju kerusakan paling kecil dan tetap yang disebut *Constant Failure Rate* (CFR). Periode ini dikenal dengan *Useful Life Period*. Kerusakan yang terjadi bersifat random yang dipengaruhi oleh kondisi

lingkungan bekerjanya peralatan, sehingga periode ini merupakan periode pemakaian peralatan yang normal dan dikarakteristikan secara pendekatan dengan jumlah kerusakan yang konstan tiap satuan waktu.

3) *Wear-Out Periode*

Bagian ketiga adalah tingkat kegagalan yang naik, yang dikenal sebagai kegagalan aus (masa aus / wear-out period). Pada periode setelah T_2 menunjukkan kenaikan laju kerusakan dengan bertambahnya waktu yang sering disebut dengan *Increasing Failure Rate (IFR)*. Hal ini terjadi karena proses keausan peralatan.

Pada periode ini kemungkinan rusak pada hari ini lebih kecil dari hari yang akan datang, sehingga komponen tersebut harus mengalami *Overhaul*.



Gambar 2.4. : Kurva Bathstup
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 :

$$P(t < T \leq t + \Delta t | T > t) = \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{R(t)} \quad (\text{Ebeling, 1997:29}) \quad (2.6)$$

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

$$z(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{\Delta t} \cdot \frac{1}{R(t)} \quad (\text{Ebeling, 1997:29}) \quad (2.7)$$

$$z(t) = \frac{F(t)}{R(t)} \quad (\text{Ebeling, 1997:29}) \quad (2.8)$$

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

$$z(t) = - \frac{1}{R(t)} \cdot \frac{dR(t)}{dt} \quad (\text{Ebeling, 1997:29}) \quad (2.9)$$

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

$$\int_0^t z(t)dt = -\ln R(t) \quad (\text{Ebeling, 1997:29}) \quad (2.10)$$

$$\text{Atau } R(t) = e^{-\int_0^t z(u) du} \quad (\text{Ebeling, 1997:29}) \quad (2.11)$$

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

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (\text{Ebeling, 1997:29}) \quad (2.12)$$

2.4.3 Mean Time To Failure (MTTF)

Mean Time To Failure adalah rata-rata waktu suatu system akan beroperasi sampai terjadi kegagalan pertama kali. Waktu rata-rata kegagalan (*Mean Time To Failure* = *MTTF*) dari suatu komponen yang memiliki fungsi densitas kegagalan (*failure density function*) $f(t)$ didefinisikan oleh nilai harapan dari komponen itu. Secara matematis waktu rata-rata kegagalan dapat diekspresikan sebagai :

$$\text{MTTF} = \int_0^{\infty} t f(t) dt \quad (\text{E. E. Lewis, 1987:83}) \quad (2.13)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2.3) ke dalam persamaan (2.13), maka diperoleh :

$$\text{MTTF} = -\int_0^{\infty} t R'(t) dt \quad (\text{E. E. Lewis, 1987:83}) \quad (2.14)$$

Integral

$$\text{MTTF} = -[tR(t)]_0^{\infty} + \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (\text{E. E. Lewis, 1987:83}) \quad (2.15)$$

Jika $\text{MTTF} < \infty$, maka nilai dari $[tR(t)]_0^{\infty} = 0$, sehingga :

$$\text{MTTF} = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (\text{E. E. Lewis, 1987:83}) \quad (2.16)$$

2.4.4 Distribusi Kegagalan

Distribusi kegagalan adalah cara untuk mengetahui seberapa besar kegagalan terjadi. Menurut Priyanta (2005), distribusi kegagalan yang sering digunakan di dalam teori keandalan (*Reliability*), yaitu:

1. Distribusi Lognormal

Distribusi ini biasa digunakan untuk menyatakan distribusi kerusakan untuk waktu yang bervariasi. Jika *time to failure* dari suatu komponen dikatakan memiliki distribusi lognormal $y = \ln T$, mengikuti distribusi normal dengan *probability density function* :

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma t}} \exp\left\{-\frac{1}{2\sigma^2} \left[\ln\left(\frac{t}{t_0}\right)\right]^2\right\} \quad (\text{E. E. Lewis, 1987:94}) \quad (2.17)$$

MTTF (*Mean Time To Failure*) :

$$MTTF = t_0 \exp\left(\frac{\sigma^2}{2}\right) \quad (\text{E. E. Lewis, 1987:94}) \quad (2.18)$$

Fungsi Keandalan :

$$R(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma t}} \int_t^{\infty} \frac{1}{(t-t_0)} e^{\left[\frac{(\ln(t-t_0)-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]} \quad (\text{E. E. Lewis, 1987:94}) \quad (2.19)$$

Laju Kerusakan :

$$\lambda(t) = \frac{\exp\left\{-\frac{1}{2\sigma^2} \left[\ln\left(\frac{t}{t_0}\right)\right]^2\right\}}{\int_1^{\infty} \left[\frac{1}{t-\theta}\right] \exp\left[-\frac{(\ln(t-\theta)-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] dt} \quad (\text{E. E. Lewis, 1987:94}) \quad (2.20)$$

2. Distribusi Weibull

Distribusi Weibull biasa digunakan untuk menghitung umur atau masa pakai dari peralatan. Jika *time to failure* dari suatu komponen adalah t mengikuti distribusi Weibull dengan parameter α dan β , maka *probability density function* dapat dirumuskan sebagai :

$$f(t) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{t}{\beta}\right)^{\alpha-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha\right] \quad (\text{E. E. Lewis, 1987:97}) \quad (2.21)$$

Dimana :

α = parameter bentuk

β = parameter skala

MTTF (*Mean Time To Failure*) :

$$MTTF = \beta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right) \quad (\text{E. E. Lewis, 1987:97}) \quad (2.22)$$

Fungsi Keandalan :

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha\right] \quad (\text{E. E. Lewis, 1987:97}) \quad (2.23)$$

Laju Kerusakan :

$$\lambda(t) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{t}{\beta}\right)^{\alpha-1} \quad (\text{E. E. Lewis, 1987:97}) \quad (2.24)$$

3. Distribusi Eksponensial

Pada distribusi eksponensial ini laju kerusakan adalah konstan untuk sistem yang bekerja secara kontinyu. Jika *time to failure* dari suatu komponen adalah terdistribusi secara eksponensial dengan parameter λ , maka *probability density function* dapat dirumuskan sebagai :

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (\text{E. E. Lewis, 1987:87}) \quad (2.25)$$

MTTF (*Mean Time To Failure*) :

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad (\text{E. E. Lewis, 1987:87}) \quad (2.26)$$

Fungsi Keandalan :

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (\text{E. E. Lewis, 1987:87}) \quad (2.27)$$

Laju Kerusakan :

$$\lambda(t) = \lambda \quad (\text{E. E. Lewis, 1987:87}) \quad (2.28)$$

2.5 Reliability Centered Maintenance (RCM)

Menurut Arileksana (2010), *Reliability Centered Maintenance* adalah suatu proses yang dilakukan untuk menentukan apa saja yang harus dilakukan agar dapat mencegah terjadinya kegagalan dan untuk memastikan bahwa alat atau mesin dapat bekerja optimal saat dibutuhkan. Sedangkan 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.

Tujuan *Reliability Centered Maintenance* menurut 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 dan peralatan
2. Hasil tidak dapat dilihat dengan cepat

Dalam metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) ada 7 pertanyaan pokok yang harus diselesaikan, yaitu :

1. Apa fungsi dan hal yang bisa dilakukan oleh suatu alat berdasarkan standar operasinya (*system function*)?
2. Bagaimana alat itu dapat gagal melaksanakan fungsinya (*function failure*)?
3. Hal apa saja yang menyebabkan kegagalan fungsi (*failure mode*)?
4. Apa yang akan terjadi jika terjadinya kegagalan fungsi (*failure effect*)?
5. Bagaimana kaitan antar kegagalan fungsi suatu alat mempengaruhi kegagalan alat lainnya (*failure consequence*)?
6. Apa yang bisa dilakukan untuk memprediksi atau mencegah kegagalan tersebut (*proactive task and task interval*)?
7. Apa yang seharusnya dilakukan jika proses pencegahan dan penanganan dini tidak dapat ditemukan (*default action*)?

2.5.1 System Description and Functional Block Diagram

System Description and Functional Block Diagram merupakan representasi dari fungsi-fungsi utama sistem yang berupa blok-blok yang berisi fungsi-fungsi dari setiap

subsistem yang menyusun sistem tersebut. Oleh karena itu, dibuat tahapan identifikasi detail dari sistem yang meliputi :

1. Deskripsi sistem
2. Functional Block Diagram
3. IN / OUT Interface
4. System Work Breakdown System

2.5.2 System Function and Functional Failure

Sistem fungsi (*functional*) adalah kinerja (*performance*) yang diharapkan oleh suatu sistem untuk dapat beroperasi. Sedangkan *Functional Failure (FF)* didefinisikan sebagai ketidakmampuan suatu komponen atau sistem untuk memenuhi standar prestasi (*performance standard*) yang diharapkan.

2.5.3 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) adalah proses mengidentifikasi kegagalan dari suatu komponen yang dapat menyebabkan kegagalan fungsi dari sistem. *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* memerlukan suatu diagram yang dinamakan *FMEA Diagram*. Menurut Moubray (1997:53), 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).

Tabel 2.1. *FMEA Diagram*

RCM INFORMATION		System :		Facilitator :	
WORKSHEET		Sub System :		Auditor :	
Function	Function	Failure Mode		Failure Effect	
	Failure	(Cause of Failure)			
	(Loss of Function)			(What Happen When It Failure)	
F		FF		FM	

Sumber : Moubray (1997:89)



2.5.4 Failure Consequences

Failure Consequences adalah konsekuensi kegagalan fungsi suatu *item* dalam produksi atau operasional. Dalam *Reliability Centered maintenance* (RCM) konsekuensi kegagalan diklasifikasikan dalam empat bagian yaitu : (Moubray, 1997:10)

1. *Hidden Failure Consequences*

Dimana kegagalan tersebut tidak dapat dibuktikan secara langsung sesaat setelah kegagalan berlangsung.

2. *Safety and Environmental Consequences*

Safety Consequences terjadi apabila sebuah kegagalan fungsi suatu *item* mempunyai konsekuensi terhadap keselamatan pekerja lainnya. Sedangkan *Environmental Consequences* terjadi apabila kegagalan fungsi suatu *item* berdampak pada kelestarian lingkungan.

3. *Operational Consequences*

Suatu kegagalan dikatakan mempunyai konsekuensi operasional ketika berakibat pada produksi atau operasional.

4. *Non Operational Consequences*

Kegagalan tidak termasuk dalam konsekuensi keselamatan atau produksi tetapi hanya melibatkan biaya perbaikan komponen.

2.5.5 Proactive Task

Proactive Task merupakan suatu tindakan yang dilakukan sebelum terjadi kegagalan, dalam rangka untuk menghindarkan *item* dari kondisi yang dapat menyebabkan kegagalan (*failed state*). Kegagalan ini bisa dikenal dengan *predictive* dan *preventive maintenance*. Dalam RCM *predictive maintenance* dimasukkan dalam aktifitas *scheduled on condition task*, sedangkan *preventive maintenance* dimasukkan dalam *scheduled restoration task* ataupun *scheduled discard task*. Kegiatan *Proactive Task* menurut Moubray, (1997:13) dibagi menjadi 3 macam, yaitu :

1. *Scheduled Restoration Task*

Scheduled restoration task adalah tindakan pemulihan kemampuan *item* pada saat atau sebelum batas umur yang ditetapkan, tanpa memperhatikan kondisi saat itu.

2. *Scheduled Discard Tasks*

Scheduled discard task adalah tindakan mengganti *item* pada saat atau batas umur yang ditetapkan, tanpa memperhatikan kondisi *item* saat itu.

3. *Scheduled On-condition Task*

Kegiatan pemeriksaan terhadap *potensial failure* sehingga tindakan dapat diambil untuk mencegah terjadinya *functional failure*.

2.5.6 *Default Action*

Default Action adalah suatu tindakan yang dilakukan ketika *predictive task* yang efektif tidak mungkin dapat dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan. Menurut Nordstrom, *Default Action* meliputi :

1. *Failure Finding*

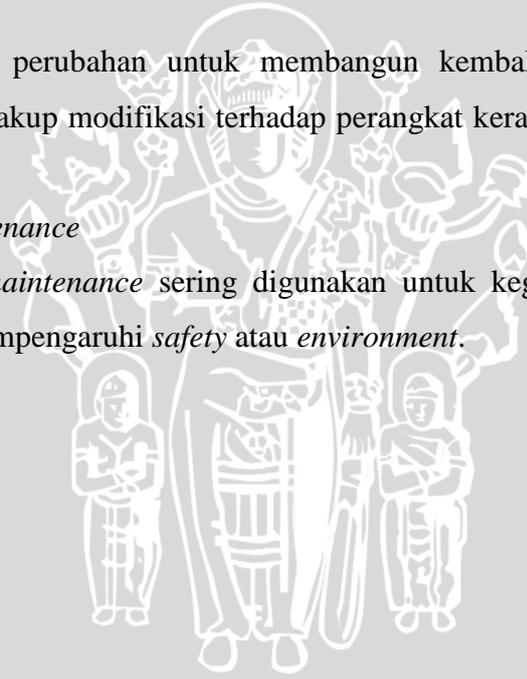
Failure finding meliputi tindakan pemeriksaan, apakah suatu komponen masih dapat bekerja sesuai dengan fungsinya. *Failure finding* hanya diaplikasikan pada *hidden* atau kegagalan yang tidak dapat dibuktikan secara langsung.

2. *Redesign*

Membuat suatu perubahan untuk membangun kembali kemampuan suatu sistem. Hal ini mencakup modifikasi terhadap perangkat keras dan juga perubahan prosedur.

3. *No Scheduled Maintenance*

No scheduled maintenance sering digunakan untuk kegagalan yang *evident* (nyata) dan tidak mempengaruhi *safety* atau *environment*.



2.5.7 RCM Decision Worksheet

Setelah ketujuh pertanyaan dalam RCM dijawab, semuanya dituangkan dalam *FMEA Diagram* dan dicatat dalam *RCM Worksheet*.

2.5.7.1 RCM Worksheet

Tabel 2.2. *RCM Worksheet*

RCM INFORMATION WORKSHEET										Sub System :			Facilitator :		
										System :			Auditor :		
<i>Information Reference</i>			<i>Consequence Evaluation</i>				H ₁	H ₂	H ₃	<i>Default Action</i>			<i>Propose Task</i>	<i>Initial Interv al</i>	<i>Can be done by</i>
							S ₁	S ₂	S ₃						
							O ₁	O ₂	O ₃						
F	FF	FM	H	S	E	O	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 H1/S1/O1/N1 <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 H2/S2/O2/N2 <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 H3/S3/O3/N3 <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 H4 <i>Scheduled Failure Finding task</i>	<i>Hidden failure</i> dapat dicegah bila <i>failure mode</i> dapat dideteksi secara teknis

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

Sumber : Moubray (1997:205)

e) *Proposed Task*

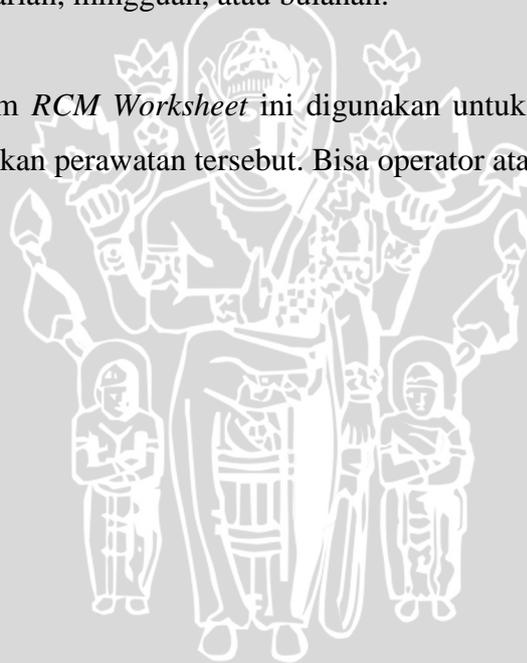
Apabila *proactive task* telah dipilih, maka diskripsi dari tindakan pencegahan yang akan diambil dimasukkan dalam kolom *proposed task*.

f) *Initial Interval*

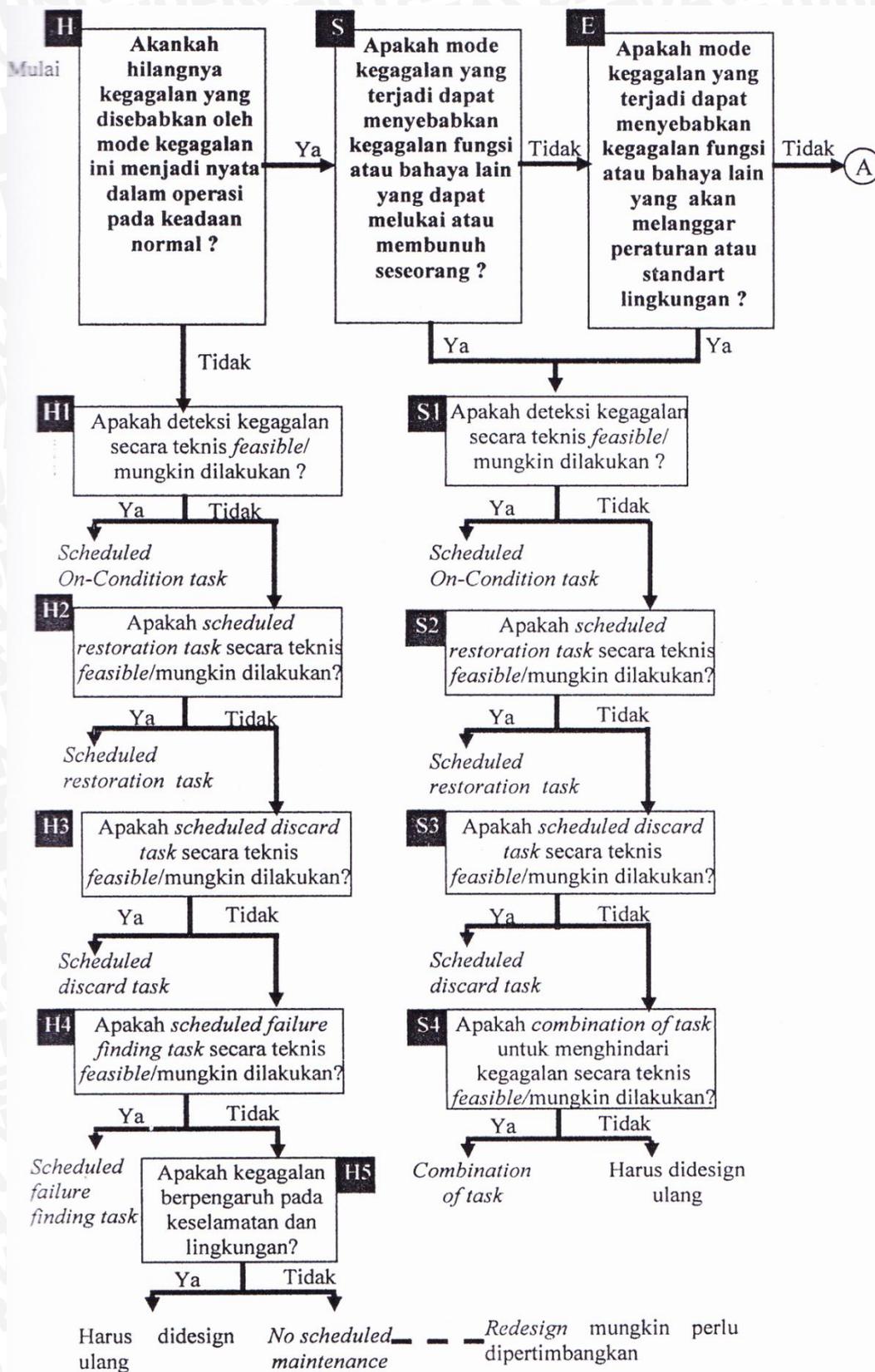
Interval perawatan yang dipilih merupakan interval optimum. Apakah interval perawatan tersebut harian, mingguan, atau bulanan.

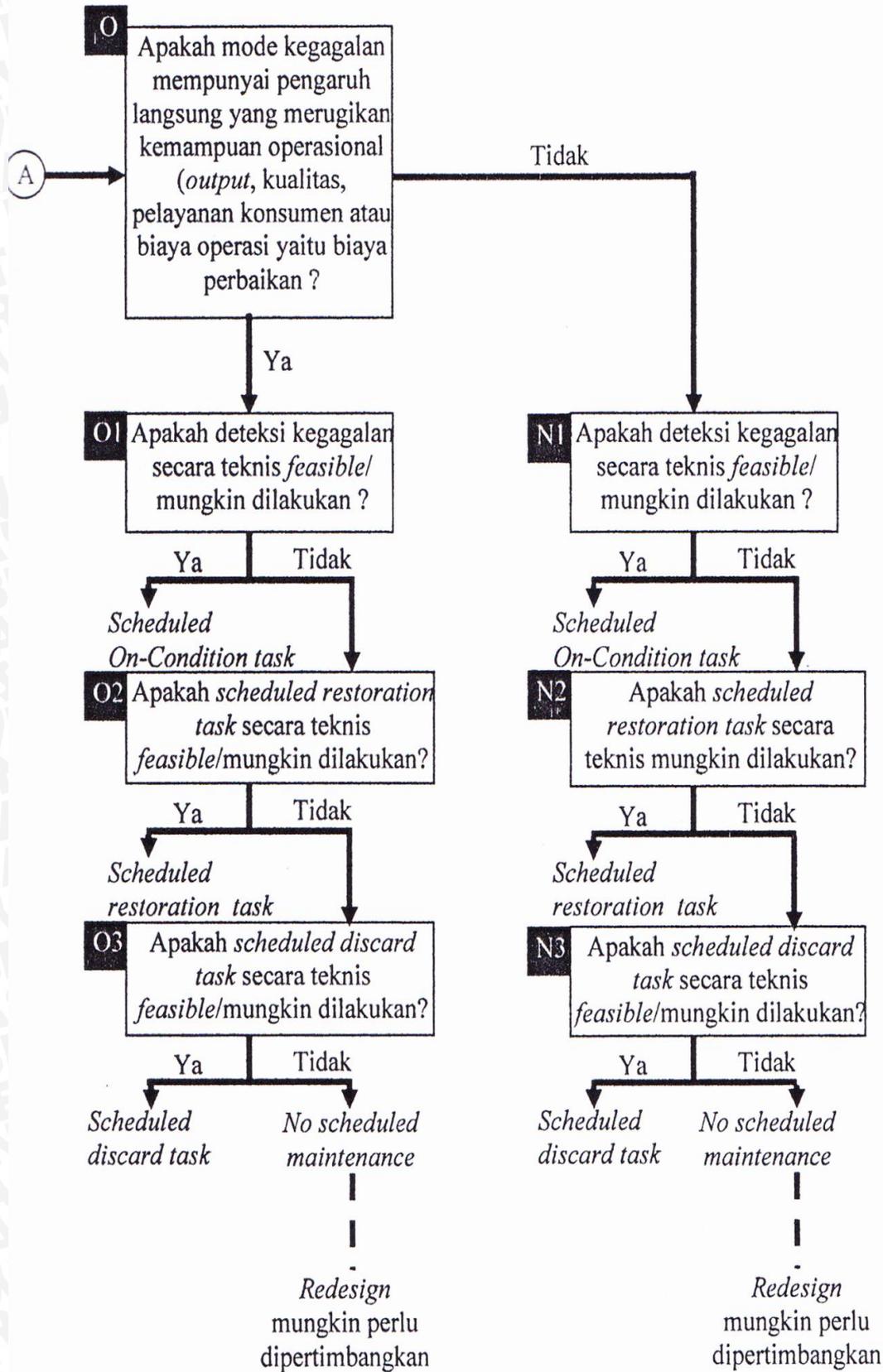
g) *Can Be Done By*

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



2.5.7.2 RCM Decision Diagram





Gambar 2.5 RCM Decision Diagram
 Sumber : (Moubray, 1997:200)



2.10 Hipotesis

Dengan menggunakan metode RCM diharapkan dapat terwujud hal sebagai berikut:

1. Komponen-komponen kritis pada generator cooler dapat teridentifikasi.
2. Dapat menentukan interval waktu perawatan komponen kritis yang sering mengalami kerusakan atau kegagalan.
3. Dapat merekomendasikan jenis tindakan perawatan (*maintenance task*) pada setiap unit yang diteliti.

