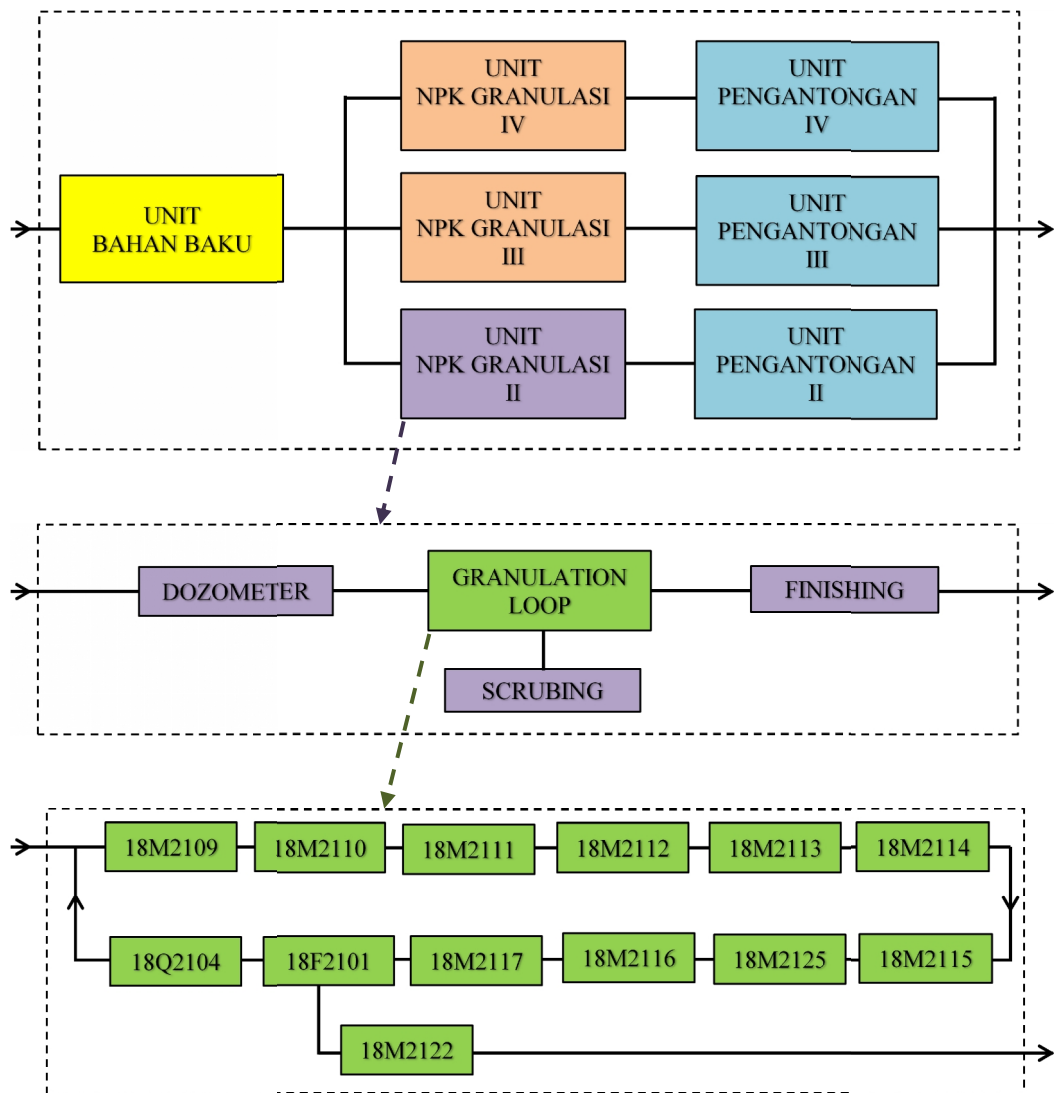


## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Proses Produksi NPK Granulasi II

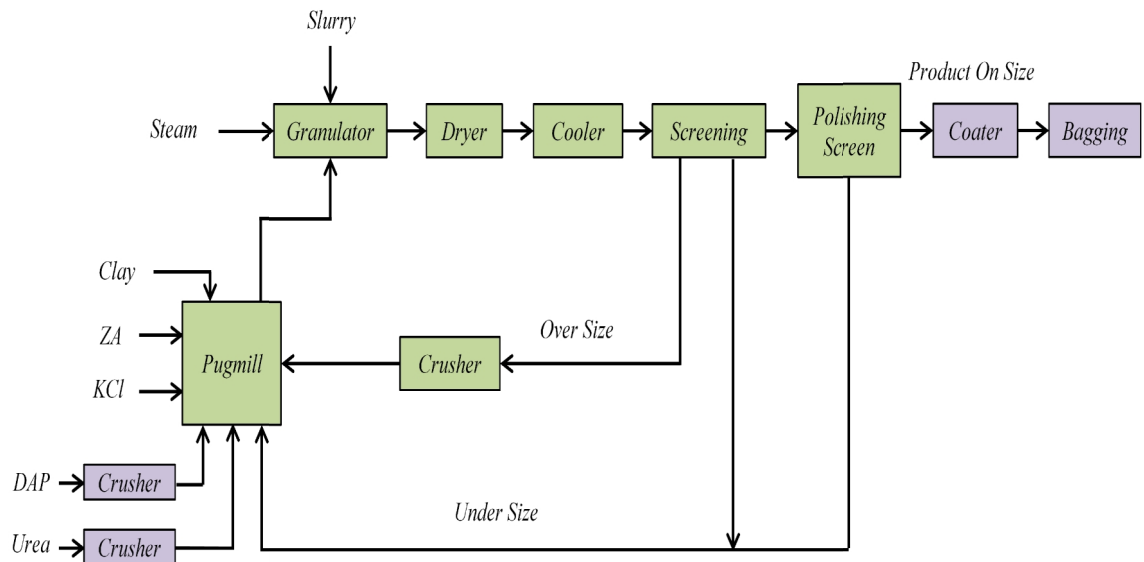
Secara umum, proses produksi di unit NPK Granulasi dapat diuraikan dalam blok diagram seperti pada gambar 2.1 berikut



Gambar 2.1 Hierarki blok diagram unit NPK Granulasi II

Dari gambar di atas terlihat bahwa unit NPK Granulasi II merupakan sub unit NPK Granulasi yang terdiri dari tiga unit utama, yakni unit bahan baku, unit proses dan unit pengantongan. Unit NPK Granulasi II sendiri dapat dibagi menjadi 4 sub unit yakni sub unit pengumpan (*dozometer*), sub unit *Granulation*

*Loop*, dan sub unit *Finishing*. *Granulation Loop* merupakan inti dari proses produksi, disini dilakukan pembutiran dan pemisahan ukuran hingga didapatkan produk yang sesuai dengan spesifikasi.



Gambar 2.2 Blok diagram proses NPK Granulasi II

Bahan baku berupa padatan yakni Urea, DAP, KCl, ZA dan Clay dicampur didalam *pugmill* bersama-sama dengan produk *under size* dan *over size* yang telah dihancurkan. Material yang telah tercampur merata didalam *pugmill* masuk ke dalam *rotary granulator* yang kemudian ditambah *steam* dan *slurry* sebagai bahan perekat pada proses pembutiran. Produk dari *rotary granulator* sudah berbentuk butiran dengan ukuran yang tidak merata dan kadar air yang tinggi dimasukkan ke dalam *rotary dryer* untuk mengurangi kadar air di dalam produk sampai batas yang telah ditentukan. Setelah dipanaskan didalam *rotary dryer* selama 30 menit material dengan temperatur  $70^{\circ}\text{C}$  diproses di dalam *rotary cooler* untuk menurunkan suhunya hingga  $50^{\circ}\text{C}$ . Produk yang keluar dari *rotary cooler* sudah memenuhi spesifikasi namun ukuran butirannya belum seragam, untuk memisahkan produk yang ukurannya tidak sesuai digunakan alat *vibrating screen*, alat ini memisahkan produk menjadi 3 bagian yakni produk *on size*, *under size* dan *over size*. Produk yang *on size* dikirim ke proses selanjutnya yakni *finishing*, produk *over size* dihancurkan di *crusher* kemudian dimasukkan kembali ke *pugmill* bersama-sama dengan produk *under size* sebagai *recycle*.

## 2.2. Manajemen Perawatan

Sistem perawatan merupakan suatu metode yang digunakan dalam kegiatan untuk mengadakan perencanaan, pengorganisasian, pengarahan, serta pengawasan dari mesin produksi dan mesin pendukung. Pengertian *maintenance* adalah suatu kegiatan untuk memelihara atau menjaga fasilitas, mesin dan peralatan pabrik dan mengadakan perbaikan atau penyesuaian atau penggantian yang diperlukan agar terdapat suatu keadaan operasi produksi yang memuaskan sesuai dengan apa yang diharapkan.

Secara alamiah tidak ada barang yang dibuat oleh manusia yang tidak bisa rusak. Usia kegunaannya dapat diperpanjang dengan melakukan perbaikan berkala dengan suatu aktivitas yang dikenal dengan istilah perawatan.

Menurut Corder (1992), perawatan adalah suatu kombinasi dari berbagai tindakan yang dilakukan untuk menjaga suatu barang dalam atau memperbaikinya sampai suatu kondisi yang bisa diterima.

Menurut Assauri (1999), perawatan adalah kegiatan untuk memelihara atau menjaga fasilitas peralatan pabrik dan mengadakan perbaikan atau penggantian yang memuaskan sesuai dengan apa yang direncanakan. Berdasarkan pada teori diatas dapat diambil kesimpulan bahwa perawatan adalah kegiatan untuk memelihara atau menjaga fasilitas, mesin dan peralatan pabrik, mengadakan perbaikan, penyesuaian atau penggantian yang diperlukan agar terdapat suatu keadaan operasi produksi yang memuaskan sesuai dengan apa yang diharapkan.

Manajemen perawatan adalah pengorganisasian operasi perawatan untuk memberikan pandangan umum mengenai perawatan fasilitas industri. Pengorganisasian ini mencakup penerapan dari metode manajemen dan metode yang menunjang keberhasilan manajemen ini adalah dengan mengembangkan dan menggunakan suatu penguraian sederhana yang dapat diperluas melalui gagasan dan tindakan.

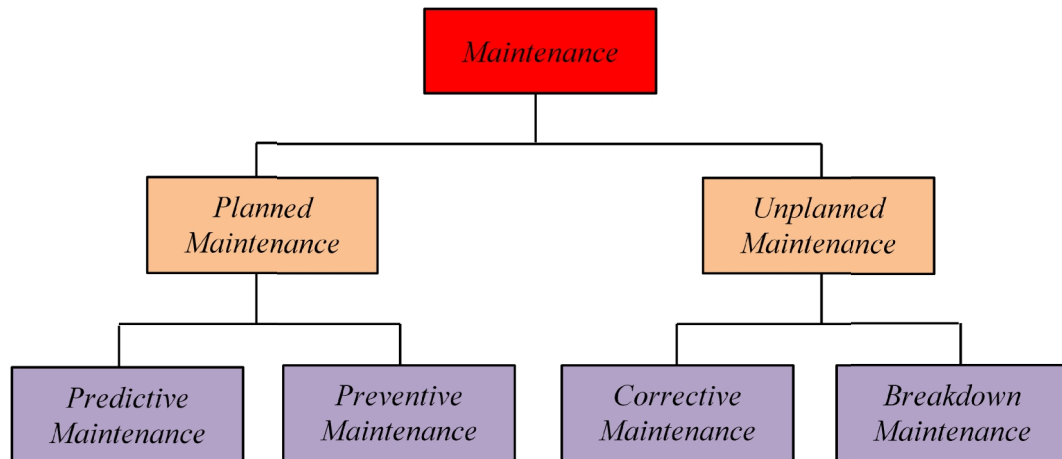
Menurut Assauri (1999), beberapa tujuan dari manajemen perawatan adalah untuk menunjang aktivitas dalam bidang perawatan (*Maintenance*) adalah sebagai berikut :

- a. Kemampuan memproduksi dapat memenuhi kebutuhan sesuai dengan rencana produksi.
- b. Menjaga kualitas pada tingkat yang tepat untuk memenuhi apa yang dibutuhkan oleh produk itu sendiri dan kegiatan produksi yang tidak terganggu.
- c. Untuk membantu mengurangi pemakaian dan penyimpanan yang diluar batas dan menjaga modal yang diinvestasikan dalam perusahaan mengenai investasi tersebut.
- d. Untuk mencapai tingkat biaya *maintenance* serendah mungkin, dengan melaksanakan kegiatan *maintenance* secara efektif dan efisien keseluruhannya. Menghindari kegiatan pemeliharaan yang dapat membahayakan keselamatan.
- e. Mengadakan suatu kerja sama yang erat dengan fungsi–fungsi utama lainnya dari suatu perusahaan, dalam rangka untuk mencapai tujuan utama perusahaan yaitu tingkat keuntungan dan *return of investment* yang sebaik mungkin dan total biaya yang terendah.

Adapun tujuan perawatan atau pemeliharaan menurut Corder (1992), adalah sebagai berikut :

- a. Memperpanjang usia aset (yaitu setiap bagian dari suatu tempat kerja, bangunan dan isinya). Hal ini terutama penting di negara berkembang karena kurangnya sumber daya modal untuk pergantian.
- b. Untuk menjamin ketersediaan optimum peralatan yang dipasang untuk produksi atau jasa dan mendapatkan laba investasi (*Return Of Investment*) maksimum yang mungkin.
- c. Untuk menjamin kesiapan operasional dari seluruh peralatan yang diperlukan dalam keadaan darurat setiap waktu, misalnya unit suku cadang, unit pemadam kebakaran dan penyelamat, dan sebagainya.
- d. Membantu dalam menciptakan kondisi kerja yang aman, baik untuk bagian operasi maupun personil pemeliharaan lainnya dengan menetapkan dan menjaga standar pemeliharaan yang benar.

Pendekatan perawatan pada dasarnya dapat dibagi menjadi 2 bagian yaitu *planned* dan *unplanned*. Klasifikasi dari pendekatan sistem perawatan tersebut dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Klasifikasi Perawatan (Corder, Antony. 1992)

Adapun klasifikasi dari perawatan mesin adalah :

1. *Planned maintenance* adalah suatu tindakan kegiatan perawatan yang pelaksanaannya telah direncanakan terlebih dahulu. *Planned maintenance* terbagi lagi menjadi 2, yakni :
  - a. *Preventive maintenance*, suatu sistem perawatan yang terjadwal dari suatu peralatan / komponen yang didesain untuk meningkatkan keandalan suatu mesin serta untuk mengantisipasi segala kegiatan perawatan yang tidak direncanakan sebelumnya. *Preventive maintenance* terdiri atas :
    - 1) *Time based maintenance*  
Kegiatan perawatan ini berdasarkan periode waktu tertentu, meliputi harian, *service*, pembersihan harian dan lain sebagainya.
    - 2) *Condition based maintenance*  
Kegiatan perawatan ini menggunakan peralatan untuk mendiagnosa perubahan kondisi dari peralatan/aset, dengan tujuan untuk memprediksi awal penetapan interval waktu perawatan.

- b. *Predictive maintenance* didefinisikan sebagai pengukuran yang dapat mendeteksi degradasi sistem, sehingga penyebabnya dapat dieliminasi atau dikendalikan tergantung pada kondisi fisik komponen. Hasilnya menjadi indikasi kapabilitas fungsi sekarang dan masa depan.
2. *Unplanned maintenance* adalah suatu kegiatan perawatan yang pelaksanaannya tidak direncanakan dan harus dilakukan untuk mendapatkan performa mesin yang diharapkan. *Unplanned maintenance* juga terbagi menjadi dua bagian, yaitu :
- a. *Corrective maintenace* yaitu suatu kegiatan perawatan yang dilakukan untuk memperbaiki dan meningkatkan kondisi mesin sehingga mencapai standar yang telah ditetapkan pada mesin tersebut.
  - b. *Breakdown maintenance*, yaitu suatu kegiatan perawatan yang pelaksanaannya menunggu sampai dengan peralatan tersebut rusak lalu dilakukan perbaikan. Cara ini dilakukan apabila efek *failure* tidak bersifat signifikan terhadap operasi maupun produksi.

### 2.2.1. *Preventive Maintenance*

*Preventive maintenance* adalah suatu sistem perawatan yang terjadwal dari suatu peralatan/komponen yang didesain untuk meningkatkan keandalan mesin serta untuk mengantisipasi segala kegiatan perawatan yang tidak direncanakan sebelumnya.

Kegiatan *preventive maintenance* dilakukan erat kaitannya dalam hal menghindari suatu sistem atau peralatan mengalami kerusakan. Pada kenyataannya, kerusakan masih mungkin saja terjadi meskipun telah dilakukan *preventive maintenance*. Ada tiga alasan mengapa dilakukan tindakan *preventive maintenance* yaitu :

1. Menghindari terjadinya kerusakan
2. Mendeteksi awal terjadinya kerusakan
3. Menemukan kerusakan yang tersembunyi.

Sedangkan keuntungan dari penerapan *preventive maintenance* antara lain adalah sebagai berikut :

1. Mengurangi terjadinya perbaikan (*repairs*) dan *downtime*.

2. Meningkatkan umur penggunaan dari peralatan
3. Meningkatkan kualitas dari produk
4. Meningkatkan availibilitas dari peralatan
5. Meningkatkan kemampuan dari operator, bagian mekanik dan keselamatan
6. Mengurangi waktu untuk merespons terjadinya kerusakan yang parah
7. Menjamin peralatan dapat digunakan sesuai dengan fungsinya
8. Meningkatkan kontrol dari peralatan dan mengurangi *inventory level*.
9. Memperbaiki sistem informasi terhadap peralatan/komponen
10. Meningkatkan identifikasi dari masalah yang dihadapi.

### **2.2.2. Corrective Maintenance**

*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.

*Corrective Maintenance* di dalam buku “*Maintanability, Maintenance and Realibility for Engineers*”, diasumsikan bahwa *Corrective maintenance* dapat dilaksanakan dengan lima langkah berikut:

1. Mengetahui penyebab kegagalan (*failure recognition*).
2. Lokasi kegagalan (*failure location*).
3. Mendiagnosa peralatan atau unit-unit yang gagal (*dianogsis within the equipment or item*).
4. Mengganti atau memperbaiki bagian yang gagal (*failed part replacement or repair*).
5. Mengembalikan sistem ke kondisi menjalankan tugasnya kembali (*system to service*).

### **2.3. Keandalan**

Pemeliharaan tidak dapat dipisahkan terhadap keandalan. Jika suatu instrumen dapat dibuat betul-betul andal, maka sama sekali tidak diperlukan

pekerjaan pemeliharaan. Oleh sebab itu adalah sangat esensial bagi orang-orang pemeliharaan mengetahui tentang keandalan dan hubungannya dengan masalah pemeliharaan. Pengetahuan tentang mana komponen yang hampir seluruhnya andal, mana yang kurang andal akan sangat membantu tugas pemeliharaan. Efek-efek terhadap keandalan dan juga terhadap *maintenance* dari faktor-faktor: temperatur, kelembaban dan guncangan adalah juga penting, disamping metode khusus seperti redundansi, dimana keandalan dapat diperbaiki pada tahap desain.

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.

Menurut Abbas (2005), menentukan keandalan dalam pengertian operasional mengharuskan definisi diatas dibuat lebih spesifik, yaitu:

1. Harus ditetapkan definisi yang jelas dan dapat diobservasi dari suatu kegagalan. Berbagai kegagalan ini harus didefinisikan relatif terhadap fungsi yang dilakukan oleh komponen atau sistem.
2. Unit waktu yang menjadi referensi dalam penentuan keandalan harus diidentifikasi dengan tegas.
3. Komponen atau sistem yang diteliti harus diobservasikan pada performansi normal. Ini mencakup beberapa faktor seperti beban yang didesain, lingkungan, dan berbagai kondisi pengoperasian.

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

$$R(t) = P\{T \geq t\}$$

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 :

$$F(t) = 1 - R(t) = P\{T < t\}$$



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 :

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt}$$

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

$\int_0^{\infty} f(t)dt = 1$ , sehingga

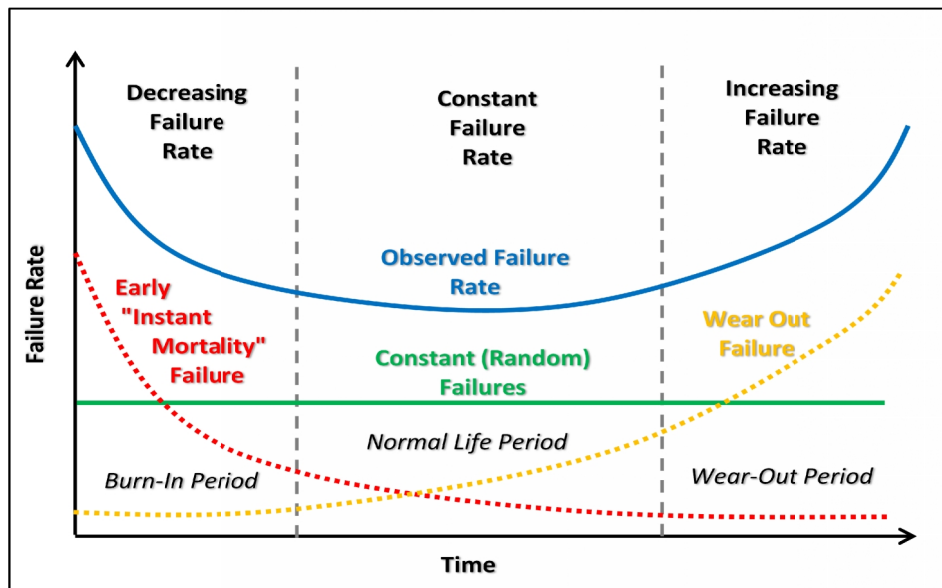
$$F(t) = \int_0^t f(t)dt$$

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

#### 2.4. 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.

Laju kegagalan dari suatu komponen atau sistem dapat di plot pada suatu kurva dengan variabel random waktu sebagai absis dan laju kegagalan dari komponen atau sistem sebagai ordinat. Kurva *bathub* ini terdiri dari tiga buah bagian utama, yaitu masa awal (*burn-in period*), masa yang berguna (*useful life period*), dan masa aus (*wear out period*).



Gambar 2.4 Kurva *Bathub*

Kurva bak mandi mendeskripsikan keterangan yang terdiri dari tiga bagian atau fase, yaitu:

1. Bagian **pertama** adalah tingkat kegagalan yang turun, yang dikenal sebagai kegagalan awal (masa awal / *burn in period*). 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 *manufakturing* atau desain yang kurang sempurna. Jumlah kerusakan berkurang karena alat yang cacat telah mati kemudian diganti atau cacatnya dideteksi atau direparasi. Jika suatu peralatan yang dioperasikan telah melewati periode ini, berarti desain dan pembuatan peralatan tersebut di pabriknya sudah benar. Periode ini dikenal juga dengan periode pemanasan (*burn in period*). Model probabilitas yang sesuai adalah distribusi Weibull dengan  $\alpha > 1$ .
2. Bagian **kedua** adalah tingkat kegagalan yang konstan, yang dikenal sebagai kegagalan acak (masa berguna / *useful life period*). 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. Distribusi yang sesuai adalah distribusi Eksponensial atau Weibull dengan  $\alpha = 1$ .

3. 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. Model distribusi yang sesuai adalah Distribusi Weibull dengan  $\alpha > 1$ .

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 :

$$P(t < T \leq t + \Delta t | T > t) = \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{R(t)}$$

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

$$z(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{\Delta t} \cdot \frac{1}{R(t)}$$

$$z(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$$

Persamaan tersebut disubstitusikan ke persamaan  $f(t) = -\frac{dR(t)}{dt}$  menjadi :

$$z(t) = -\frac{1}{R(t)} \frac{dR(t)}{dt}$$

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

$$\int_0^t z(u)du = -\ln R(t)$$

Atau,

$$R(t) = e^{-\int_0^t z(u)du}$$

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

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

#### 2.4.1. Mean Time To Failure

*Mean Time To Failure* adalah rata-rata waktu suatu sistem 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 :

$$MTTF = \int_0^{\infty} t f(t) dt$$

Dengan menyubstitusikan  $f(t) = -\frac{dR(t)}{dt}$  ke dalam persamaan tersebut maka diperoleh :

$$MTTF = -\int_0^{\infty} t R'(t) dt$$

Integral

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

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

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

Untuk komponen yang memiliki fungsi keandalan  $R(t) = e^{-\lambda t}$ , maka diperoleh :

$$MTTF = -\int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda}$$

### 2.4.2. Mean Time To Reppair

*Mean Time To Reppair* adalah waktu dimana suatu produk atau sistem mulai rusak sampai selesai diperbaiki. Secara umum, waktu perbaikan atau *Mean Time To Reppair* diberlakukan sebagai variabel random karena kejadian yang berulang-ulang dapat mengakibatkan perbaikan yang berbeda-beda. *MTTR* diperoleh dengan menggunakan rumus :

$$MTTR = \int_0^{\infty} t.h(t)dt = \int_0^{\infty} (1 - H(t))dt$$

Dimana :

- $h(t)$  : fungsi kepadatan peluang untuk data waktu perbaikan
- $H(t)$  : fungsi distribusi kumulatif untuk data waktu perbaikan
- $t$  : waktu

### 2.4.3. Distribusi Kegagalan

Menurut Gaspersz (2002) distribusi kegagalan adalah cara untuk mengetahui seberapa besar kegagalan terjadi. Distribusi kegagalan yang sering digunakan di dalam teori keandalan yaitu:

#### 1. Distribusi Normal

Distribusi normal (Gaussian) mungkin merupakan distribusi probabilitas yang paling penting baik dalam teori maupun aplikasi statistik. Fungsi-fungsi dari distribusi Normal:

##### a. Fungsi Kepadatan Probabilitas

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

##### b. Fungsi Distribusi Kumulatif

$$F(t) = \int_0^t \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}} dt$$

##### c. Fungsi Keandalan

$$R(t) = \int_t^{\infty} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}} dt$$

## d. Fungsi Laju Kerusakan

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$$

## 2. Distribusi Lognormal

*Time to failure* dari suatu komponen dikatakan memiliki distribusi lognormal bila  $y = \ln T$ , mengikuti distribusi normal dengan *probability density function* :

## a. Fungsi Kepadatan Probabilitas

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

## b. Fungsi Distribusi Kumulatif

$$F(t) = \int_{-\infty}^t \frac{1}{t\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{[\ln(t)-\mu]^2}{2\sigma^2}} dt$$

## c. Fungsi Keandalan

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

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

$$R(t) = e^{-1/MTTF}$$

## d. Fungsi Laju Kerusakan

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$$

Konsep *reliability* distribusi Lognormal tergantung pada nilai  $\mu$  (rata-rata) dan  $\sigma$  (standar deviasi).

## 3. Distribusi Weibull

Jika *time to failure* dari suatu komponen adalah  $T$  mengikuti distribusi Weibull dengan parameter  $\alpha$  dan  $\beta$  maka fungsi-fungsinya adalah :

## a. Fungsi Kepadatan Probabilitas

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

## b. Fungsi Distribusi Kumulatif

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta}$$

## c. Fungsi Keandalan

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta}$$

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

$$R(t) = e^{-\lambda \text{MTTF}}$$

## d. Fungsi Laju Kerusakan

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

Parameter  $\beta$  disebut dengan parameter bentuk atau kemiringan weibull (*weibull slope*), sedangkan parameter  $\alpha$  disebut dengan parameter skala atau karakteristik hidup. Bentuk fungsi distribusi weibull bergantung pada parameter bentuknya ( $\beta$ ), yaitu:

$\beta < 1$  : Distribusi weibull akan menyerupai distribusi hyper-exponential dengan laju kerusakan cenderung menurun.

$\beta = 1$  : Distribusi weibull akan menyerupai distribusi eksponensial dengan laju kerusakan cenderung konstan.

$\beta > 1$  : Distribusi weibull akan menyerupai distribusi normal dengan laju kerusakan cenderung meningkat.

## 4. Distribusi Eksponensial

Distribusi eksponensial sering digunakan dalam berbagai bidang, terutama dalam kerusakan mempunyai perilaku yang dapat dicerminkan oleh distribusi eksponensial. Distribusi eksponensial akan tergantung pada nilai  $\lambda$ , yaitu laju kegagalan (konstan). Fungsi-fungsi dari distribusi Eksponensial:

## a. Fungsi Kepadatan Probabilitas

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

$$t > 0$$

- b. Fungsi Distribusi Kumulatif

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

- c. Fungsi Keandalan

$$F(t) = e^{-\lambda t}$$

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

$$R(t) = e^{1/MTTF}$$

- d. Fungsi Laju Kerusakan

$$h(t) = \lambda$$

## 5. Distribusi Gamma

Distribusi Gamma memiliki karakter yang hampir mirip dengan distribusi Weibull dengan *shape* parameter  $\beta$  dan *scale* parameter  $\alpha$ . Dengan memvariasikan nilai kedua parameter tersebut maka ada banyak jenis sebaran data yang dapat diwakili oleh distribusi Gamma. Fungsi-fungsi dari distribusi Gamma:

- a. Fungsi Kepadatan Probabilitas

$$f(t) = \frac{t^{\beta-1}}{\alpha^\beta \Gamma(\beta)} e^{-\frac{t}{\alpha}}; t \geq 0; \alpha, \beta > 0$$

- b. Fungsi Distribusi Kumulatif

$$F(t) = \int_0^t \frac{t^{\beta-1}}{\alpha^\beta \Gamma(\beta)} e^{-\frac{t}{\alpha}} dt$$

- c. Fungsi Keandalan

$$R(t) = \int_t^\infty \frac{t^{\beta-1}}{\alpha^\beta \Gamma(\beta)} e^{-\frac{t}{\alpha}} dt$$

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

$$R(t) = e^{1/MTTF}$$

- d. Fungsi Laju Kerusakan

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$$



Dari kelima distribusi di atas akan dilakukan uji distribusi untuk mengetahui distribusi mana yang paling mendekati dan dapat mewakili keadaan sesungguhnya. Pengujian dilakukan dengan menggunakan *software Minitab 16* dengan nilai *Anderson Darling* yang terkecil.

*Anderson Darling Test* adalah uji normalitas yang memiliki kemiripan dengan *Kolmogorov Smirnov Test* dan *Cramer Von Mises Test*, yaitu sama-sama berdasarkan pada *Empirical Distribution Function* (EDF). Uji ini dinamai oleh Theodore Wilbur Anderson (1918) dan Donald A. Darling (1915) yang dipublikasikan tahun 1952.

Rumus dasar *Anderson-Darling*

$$A^2 = -n - S$$

Dengan

$$S = \sum_{k=1}^n \frac{2k-1}{n} [\ln(F(Y_k)) + \ln(1 - F(Y_{n+1-k}))]$$

Dimana :

- $A$  = Nilai uji statistik *Anderson-Darling*
- $N$  = Jumlah data
- $F$  = Fungsi distribusi kumulatif
- $Y$  = Data yang telah diurutkan

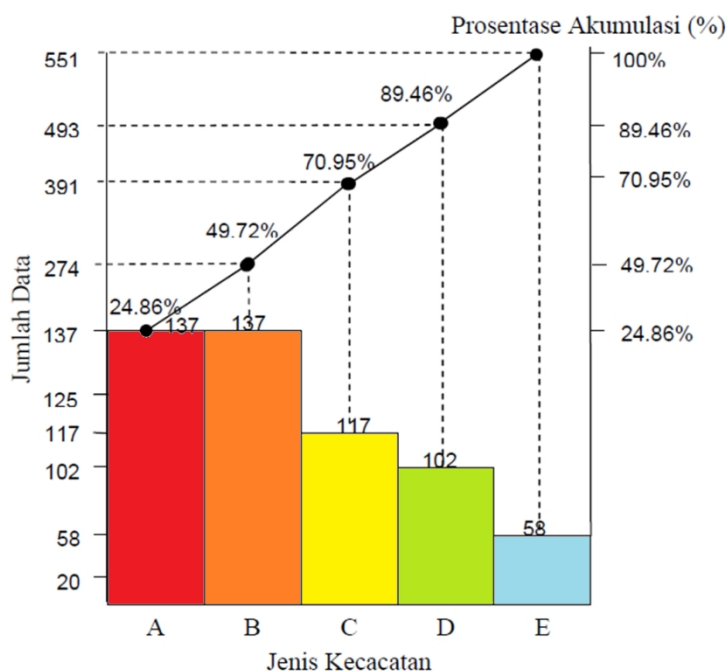
## 2.5. Diagram Pareto

Diagram pareto diperkenalkan oleh seorang ahli yaitu Alfredo Pareto (1848 – 1923). Diagram Pareto ini merupakan suatu gambar yang mengurutkan klasifikasi data dari kiri ke kanan menurut urutan *ranking* tertinggi hingga terendah. Penyusunan diagram pareto meliputi enam langkah :

1. Menentukan metode atau arti dari pengklasifikasian data.
2. Menentukan satuan yang digunakan untuk membuat urutan karakteristik.
3. Mengumpulkan data sesuai dengan interval waktu yang telah ditentukan.
4. Merangkum data dan membuat *ranking* kategori data tersebut dari yang terbesar hingga terkecil.

5. Menghitung frekuensi kumulatif atau persentase kumulatif yang digunakan.
6. Menggambar diagram batang, menunjukkan tingkat kepentingan relatif masing-masing masalah. Mengidentifikasi beberapa hal yang penting untuk mendapat perhatian.

Diagram Pareto adalah alat yang digunakan untuk membandingkan berbagai kategori kejadian yang disusun menurut ukurannya untuk menentukan pentingnya atau prioritas kategori kejadian-kejadian atau sebab-sebab kejadian yang akan dianalisis, sehingga kita dapat memusatkan perhatian pada sebab-sebab yang mempunyai dampak terbesar terhadap kejadian tersebut. Berikut merupakan contoh penggunaan *pareto diagram*.



Gambar 2.5 *Pareto Diagram*

Menurut Ariani (2004), terdapat beberapa tujuan dari diagram pareto tersebut, di antaranya adalah:

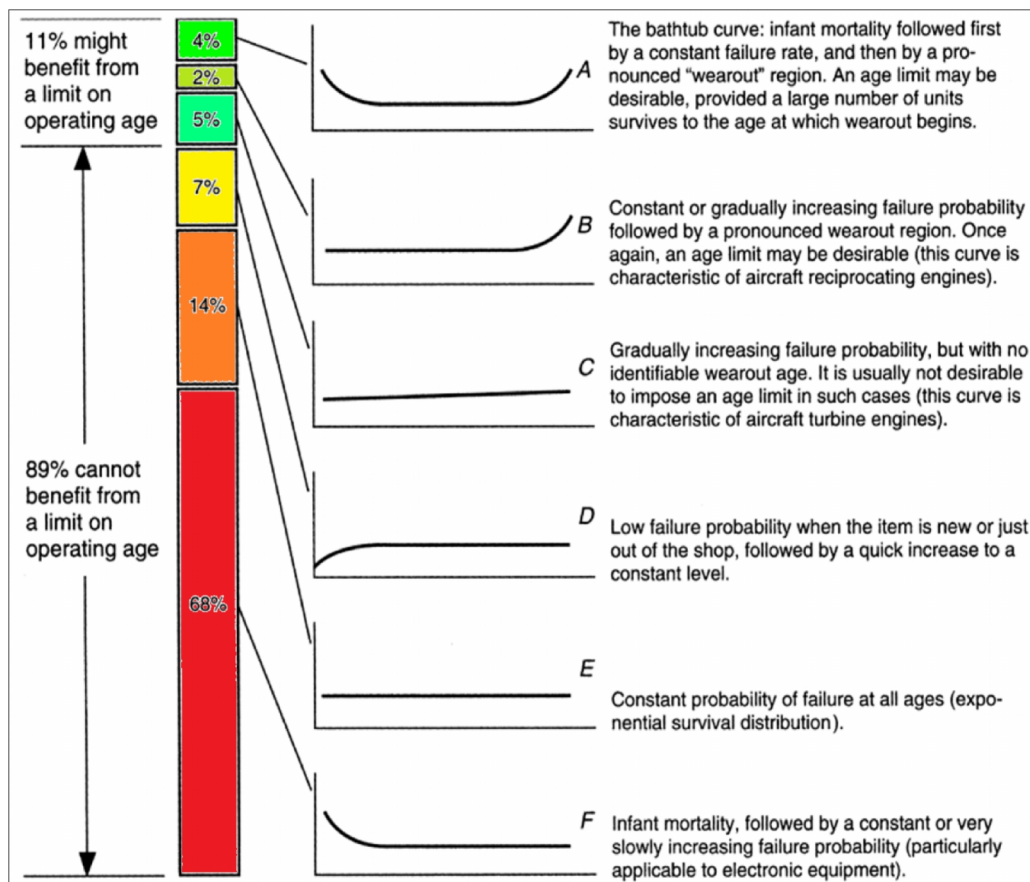
1. Membantu menemukan permasalahan yang paling penting untuk segera diselesaikan (*ranking* tertinggi) sampai dengan masalah yang tidak harus segera diselesaikan (*ranking* terendah).

2. Mengidentifikasi masalah yang paling penting yang mempengaruhi usaha perbaikan kualitas.
3. Memberikan petunjuk dalam mengalokasikan sumber daya terbatas untuk menyelesaikan masalah.
4. Membandingkan kondisi proses, misalnya ketidaksesuaian proses sebelum dan setelah diambil tindakan perbaikan terhadap proses.

### **2.6. *Reliability Centered Maintenance***

Penelitian yang dilakukan oleh Nowlan dan Heap membuktikan bahwa hubungan erat antara umur peralatan dengan laju kegagalan dan pemikiran dasar *time based maintenance* untuk sebagian besar peralatan adalah tidak benar (Nowlan & Heap 1978). Penelitian lain dilakukan oleh Departemen Pertahanan USA dan beberapa instalasi nuklir menguatkan hasil penelitian mereka, Nowlan dan Heap kemudian mengembangkan sistem perawatan yang dinamakan *Reliability Centered Maintenance* (RCM).

*Reliability Centered Maintenance* merupakan sebuah proses teknik logika untuk menentukan tugas-tugas pemeliharaan yang akan menjamin sebuah perancangan sistem keandalan dengan kondisi pengoperasian yang spesifik pada sebuah lingkungan pengoperasian yang khusus. Penekanan terbesar pada *Reliability Centered Maintenance* (RCM) adalah menyadari bahwa konsekuensi atau resiko dari kegagalan adalah jauh lebih penting dari pada karakteristik teknik itu sendiri. RCM dapat didefinisikan sebagai sebuah proses yang digunakan untuk menentukan apa yang harus dilakukan untuk menjamin bahwa beberapa aset fisik dapat berjalan secara normal melakukan fungsi yang diinginkan penggunanya dalam konteks operasi sekarang (*present operating*) (Moubray, 1997).



Gambar 2.6 Pola usia keandalan untuk peralatan non struktural United Airlines (Smith, Hinchcliffe 2004)

Tujuan dari *Reliability Centered Maintenance* adalah:

1. Untuk mengembangkan desain yang sifat mampu dipeliharanya (*maintainability*) 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.

Kelebihan yang dimiliki oleh *Reliability Centered Maintenance* ini adalah sebagai berikut :

1. Dapat membuat suatu kegiatan ataupun program *maintenance* menjadi lebih efisien.

2. Meminimalisasi frekuensi dilakukannya *overhaul*.
3. Menurunkan biaya *maintenance* dengan mengeliminasi kegiatan *maintenance* atau *overhaul* yang tidak perlu.
4. Pengurangan probabilitas terjadinya kegagalan pada suatu alat atau fasilitas produksi.
5. Menambah keandalan komponen

Pada dasarnya *Reliability Centered Maintenance* berusaha menjawab 7 pertanyaan utama tentang item atau peralatan yang menjadi obyek penelitian. Ketujuh pertanyaan mendasar *Reliability Centered Maintenance* tersebut antara lain (Moubray, 1997) :

1. Apakah fungsi dan hubungan performansi standar dari item dalam konteks operasional saat ini ?
2. Bagaimana item atau peralatan tersebut rusak dalam menjalankan fungsinya ?
3. Apa yang menyebabkan terjadinya kegagalan fungsi tersebut ?
4. Apakah yang terjadi pada saat terjadi kerusakan ?
5. Bagaimana masing-masing kerusakan tersebut terjadi?
6. Apakah yang dapat dilakukan untuk memprediksi dan mencegah masing-masing kegagalan tadi ?
7. Apakah yang harus dilakukan apabila kegiatan proaktif yang
8. sesuai tidak berhasil ditemukan ?

### **2.6.1. Langkah – langkah penerapan RCM**

Sebelum menerapkan RCM, kita harus menentukan dulu langkah-langkah yang diperlukan dalam RCM. Adapun langkah-langkah yang diperlukan dalam RCM dijelaskan dalam bagian berikut.

#### **2.6.1.1. Seleksi sistem dan pengumpulan informasi**

Berikut ini akan dibahas secara terpisah antara pemilihan sistem dan pengumpulan informasi.

a. Pemilihan Sistem

Ketika memutuskan untuk menerapkan program RCM pada fasilitas ada dua hal yang menjadi bahan pertimbangan, yaitu:

1. Sistem yang akan dilakukan analisis.

Proses analisis RCM sebaiknya dilakukan pada tingkat sistem bukan pada tingkat komponen. Dengan proses analisis pada tingkat sistem akan memberikan informasi yang lebih jelas mengenai fungsi dan kegagalan fungsi komponen terhadap sistem.

2. Seluruh sistem akan dilakukan proses analisis dan bila tidak bagaimana dilakukan pemilihan sistem.

Biasanya tidak semua sistem akan dilakukan proses analisis. Hal ini disebabkan karena bila dilakukan proses analisis secara bersamaan untuk dua sistem atau lebih proses analisis akan sangat luas. Selain itu, proses analisis akan dilakukan secara terpisah, sehingga dapat lebih mudah untuk menunjukkan setiap karakteristik sistem dari fasilitas (mesin/peralatan) yang dibahas.

b. Pengumpulan Informasi

Pengumpulan informasi berfungsi untuk mendapatkan gambaran dan pengertian yang lebih mendalam mengenai sistem dan bagaimana sistem bekerja. Pengumpulan informasi juga akan dapat digunakan dalam analisis RCM pada tahapan selanjutnya. Informasi-informasi yang dikumpulkan dapat melalui pengamatan langsung di lapangan, wawancara, dan sejumlah buku referensi. Informasi yang dikumpulkan antara lain cara kerja mesin, komponen utama mesin, spesifikasi mesin dan rangkaian sistem permesinan.

#### **2.6.1.2. Definisi batasan sistem**

Jumlah sistem dalam suatu fasilitas atau pabrik sangat luas tergantung dari kekompleksan fasilitas, karena itu perlu dilakukan definisi batas sistem. Lebih jauh lagi pendefinisian batas sistem ini bertujuan untuk menghindari tumpang tindih antara satu sistem dengan sistem lainnya.

### **2.6.1.3. System description & functional block diagram**

Dalam tahap ini ada tiga informasi yang harus dikembangkan yaitu deskripsi sistem, blok diagram fungsi, dan *system work breakdown structure* (SWBS).

#### 1. Deskripsi Sistem

Langkah pendeskripsian sistem diperlukan untuk mengetahui komponen-komponen yang terdapat di dalam sistem tersebut dan bagaimana komponen-komponen yang terdapat dalam sistem tersebut beroperasi. Sedangkan informasi fungsi peralatan dan cara sistem beroperasinya dapat dipakai sebagai informasi untuk membuat dasar untuk menentukan kegiatan pemeliharaan pencegahan.

Keuntungan yang didapat dari pendeskripsian sistem adalah:

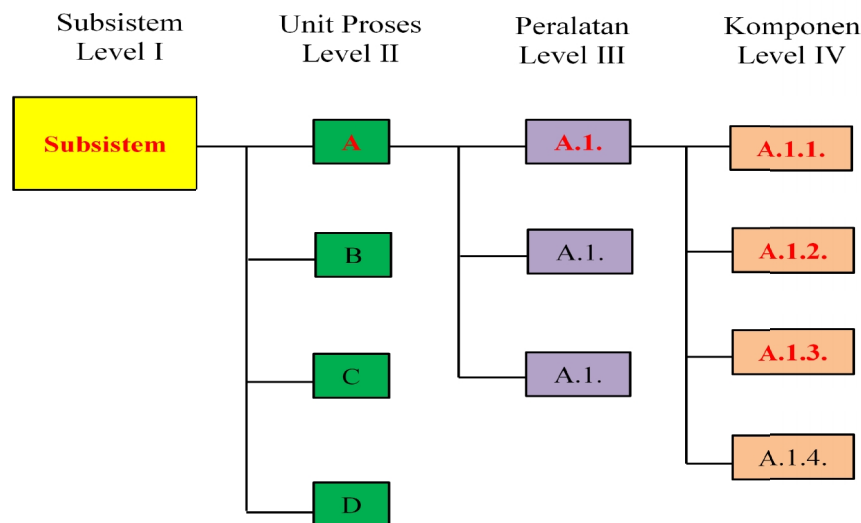
- a. Sebagai dasar informasi tentang desain dan cara sistem beroperasinya yang dipakai sebagai acuan untuk kegiatan pemeliharaan pencegahan di kemudian hari.
- b. Diperoleh pengetahuan sistem secara menyeluruh.
- c. Dapat diidentifikasi parameter-parameter yang menyebabkan kegagalan sistem.

#### 2. Blok Diagram Fungsi

Melalui pembuatan blok diagram fungsi suatu sistem maka masukan, keluaran dan interaksi antara sub-sub sistem tersebut dapat tergambar dengan jelas.

#### 3. *System Work Breakdown Structure* (SWBS)

*System Work Breakdown Structure* dikembangkan bersamaan dengan *Program Evaluation and Review Technique* (PERT) oleh Departemen Pertahanan Amerika Serikat (DoD). Pada tahap ini akan digambarkan himpunan daftar peralatan untuk setiap bagian-bagian fungsi sub sistem. Sistem ini terdiri dari dua komponen utama yaitu diagram dan kode dari subsistem/komponen. Pada Gambar 2.7 berikut ini merupakan contoh *system work breakdown structure* (SWBS).



Gambar 2.7 Contoh *System Work Breakdown Structure*

#### 2.6.1.4. Fungsi sistem dan kegagalan fungsi

Pada bagian ini, proses analisis lebih difokuskan pada kegagalan fungsi, bukan kepada kegagalan peralatan karena kegagalan komponen akan dibahas lebih lanjut di tahapan berikutnya (FMEA). Biasanya kegagalan fungsi memiliki dua atau lebih kondisi yang menyebabkan kegagalan parsial, minor maupun mayor pada sistem.

#### 2.6.1.5. *Failure Modes and Effect Analysis (FMEA)*

*Failure Modes and Effects Analysis (FMEA)* merupakan metode sistematis untuk mengidentifikasi dan menghindari permasalahan pada peralatan atau sistem sebelum permasalahan tersebut terjadi. FMEA merupakan sekumpulan petunjuk, sebuah proses dan *form* untuk mengidentifikasi dan mendahulukan masalah-masalah potensial (kegagalan). Pemakaian FMEA sangat membantu dalam hal pemikiran lima elemen proses, yaitu : manusia, peralatan, metode dan lingkungan. Pertanyaannya kuncinya adalah “ bagaimana kesalahan proses dapat mempengaruhi produk, efisiensi proses atau keselamatan?”.

Teknik FMEA dikembangkan pertama kali sekitar tahun 1950-an oleh para *reliability engineers* yang sedang mempelajari masalah yang ditimbulkan oleh peralatan militer yang mengalami malfungsi. Teknik analisa ini lebih menekankan pada *hardware-oriented approach* atau *bottom-up approach*. Dikatakan demikian



karena analisa sistem merupakan tingkat yang lebih tinggi. Untuk masing-masing komponen, berbagai mode kegagalan beserta dampaknya pada sistem ditulis pada sebuah FMEA *worksheet*.

Secara umum tujuan dari penyusunan FMEA adalah sebagai berikut :

1. Membantu dalam pemilihan desain alternatif yang memiliki keandalan dan keselamatan potensial yang lebih tinggi selama fase desain.
2. Untuk menjamin bahwa semua bentuk mode kegagalan yang dapat diperkirakan berikut dampak yang ditimbulkannya terhadap kesuksesan operasional sistem telah dipertimbangkan.
3. Membuat *list* kegagalan potensial, serta mengidentifikasi seberapa besar dampak yang ditimbulkannya.
4. Men-*develop* kriteria awal untuk rencana dan desain pengujian serta untuk membuat daftar pemeriksaan sistem.
5. Sebagai basis analisa kualitatif keandalan dan ketersediaan.
6. Sebagai dokumentasi untuk referensi pada masa yang akan datang untuk membantu menganalisa kegagalan yang terjadi di lapangan serta membantu bila sewaktu-waktu terjadi perubahan desain.
7. Sebagai *input* untuk studi banding.
8. Sebagai basis untuk menentukan prioritas perawatan korektif.

Dalam menentukan prioritas dari suatu bentuk kegagalan maka tim FMEA harus mendefinisikan terlebih dahulu tentang *severity*, *occurance*, *detection* serta hasil akhirnya yang berupa *Risk Priority Number* (RPN). Menurut Nisa Masruroh (2008) penjelasan dari RPN adalah sebagai berikut :

#### 1. *Severity*

*Severity* adalah langkah pertama untuk menganalisa resiko yaitu menghitung seberapa besar dampak atau intensitas kejadian mempengaruhi *output* proses. *Severity* adalah suatu perkiraan subyektif mengenai kerumitan suatu kegagalan dan bagaimana buruknya pengguna akhir akan merasakan akibat dari kegagalan tersebut. Dampak tersebut dirancang mulai skala 1 sampai 10, dimana 10 merupakan dampak terburuk.

Tabel 2.1 *Rating Severity* dalam FMEA

Rating	Akibat	Kriteria Verbal	Akibat pada Produksi
1	Tidak ada akibat	Tidak ada akibat apa-apa(tidak ada akibat) dan tidak ada penyesuaian yang diperlukan	Proses berada dalam pengendalian tanpa perlu penyesuaian
2	Akibat sangat ringan	Mesin tetap beroperasi dan aman, hanya terjadi sedikit gangguan peralatan yang tidak berarti	Proses berada dalam pengendalian hanya membutuhkan sedikit penyesuaian
3	Akibat ringan	Mesin tetap beroperasi aman, hanya terjadi sedikit gangguan	Proses berada diluar pengendalian beberapa penyesuaian diperlukan
4	Akibat minor	Mesin tetap beroperasi dan aman, namun terdapat gangguan kecil	Kurang dari 30 menit <i>downtime</i> atau tidak kehilangan waktu produksi
5	Akibat moderat	Mesin tetap beroperasi dan aman, namun telah menimbulkan beberapa kegagalan produk	30-60 menit <i>downtime</i>
6	Akibat signifikan	Mesin tetap beroperasi dan aman, tetapi menimbulkan kegagalan produk	1-2 jam <i>downtime</i>
7	Akibat major	Mesin tetap beroperasi dan aman, tetapi tidak dapat dijalankan	2-4 jam <i>downtime</i>
8	Akibat ekstrim	Mesin tidak dapat beroperasi, telah kehilangan fungsi utama mesin	4-8 jam <i>downtime</i>
9	Akibat serius	Mesin gagal beroperasi, serta tidak sesuai dengan peraturan keselamatan kerja	>8 jam <i>downtime</i>
10	Akibat berbahaya	Mesin tidak layak beroperasi, karena dapat menimbulkan kecelakaan secara tiba-tiba, bertentangan dengan peraturan keselamatan kerja	>8 jam <i>downtime</i>

## 2. Occurrence

*Occurrence* adalah kemungkinan bahwa penyebab tersebut akan terjadi dan menghasilkan bentuk kegagalan selama masa penggunaan (*Possible*

*failure rates*). Dengan memperkirakan kemungkinan *occurrence* pada skala 1 sampai 10.

Tabel 2.2 *Rating Occurrence* dalam FMEA

Rating	Kejadian	Kriteria Verbal	Tingkat Kejadian
1	Hampir tidak pernah	Kerusakan hampir tidak pernah terjadi	>10.000 jam operasi mesin
2	<i>Remote</i>	Kerusakan jarang terjadi	6.001 - 10.000 jam operasi mesin
3	Sangat sedikit	Kerusakan terjadi sangat sedikit	3.001 - 6.000 jam operasi mesin
4	Sedikit	Kerusakan terjadi sedikit	2.001 - 3.000 jam operasi mesin
5	Rendah	Kerusakan terjadi pada tingkat rendah	1.001 - 2.000 jam operasi mesin
6	Medium	Kerusakan terjadi pada tingkat medium	401 - 1.000 jam operasi mesin
7	Agak tinggi	Kerusakan terjadi agak tinggi	101 - 400 jam operasi mesin
8	Tinggi	Kerusakan terjadi tinggi	11 - 100 jam operasi mesin
9	Sangat tinggi	Kerusakan terjadi sangat tinggi	2 - 10 jam operasi mesin
10	Hampir selalu	Kerusakan selalu terjadi	<2 jam operasi mesin

### 3. *Detection*

*Detection* adalah pengukuran terhadap kemampuan mengendalikan atau mengontrol kegagalan yang dapat terjadi. Berdasarkan pada *rating detection*, jika *detection* menunjukkan “tidak pasti” maka dapat dikatakan sistem kontrol yang berfungsi tidak dapat mendeteksi kegagalan yang muncul dan termasuk ke dalam *rating* 10 dan seterusnya seperti yang telah dijelaskan pada tabel di bawah ini :

Tabel 2.3 *Rating Detection* dalam FMEA

Rating	Akibat	Kriteria Verbal
1	Hampir pasti	Perawatan preventif akan selalu mendeteksi penyebab potensial kegagalan dan mode kegagalan
2	Sangat tinggi	Perawatan preventif memiliki kemungkinan sangat tinggi untuk mendeteksi penyebab potensial kegagalan

Rating	Akibat	Kriteria Verbal
3	Tinggi	Perawatan preventif memiliki kemungkinan tinggi untuk mendeteksi penyebab potensial kegagalan dan mode kegagalan
4	Moderat tinggi	Perawatan preventif memiliki kemungkinan moderat tinggi untuk mendeteksi penyebab potensial kegagalan dan mode kegagalan
5	Moderat	Perawatan preventif memiliki kemungkinan moderat untuk mendeteksi penyebab kegagalan dan mode kegagalan
6	Rendah	Perawatan preventif memiliki kemungkinan rendah untuk mendeteksi penyebab kegagalan dan mode kegagalan
7	Sangat rendah	Perawatan preventif memiliki kemungkinan sangat rendah untuk mendeteksi penyebab kegagalan dan mode kegagalan
8	Sedikit	Perawatan preventif memiliki sedikit kemungkinan untuk mendeteksi penyebab kegagalan dan mode kegagalan
9	Sangat sedikit	Perawatan preventif memiliki sangat sedikit kemungkinan untuk mendeteksi penyebab kegagalan dan mode kegagalan
10	Tidak pasti	Perawatan preventif akan selalu tidak mampu untuk mendeteksi penyebab kegagalan dan mode kegagalan

#### 4. Risk Priority Number (RPN)

*Risk Priority Number* (RPN) merupakan produk matematis dari keseriusan efek (*severity*), kemungkinan terjadinya penyebab akan menimbulkan kegagalan yang berhubungan dengan efek (*occurrence*) dan kemampuan untuk mendeteksi kegagalan sebelum terjadi (*detection*). RPN dapat ditunjukkan dengan persamaan sebagai berikut :

$$RPN = S \times O \times D$$

Langkah-langkah dalam penyusunan *Failure Modes and Effects Analysis* adalah sebagai berikut :

1. Menentukan nama mesin dan komponen yang menjadi obyek FMEA.
2. Mendeskripsikan fungsi dari komponen yang dianalisa.
3. Mengidentifikasi *Function failure* atau kegagalan fungsi.

4. Mengidentifikasi *Failure Mode* atau penyebab kegagalan yang terjadi .
5. Mengidentifikasi *Failure effect* atau dampak yang ditimbulkan dari kegagalan sistem.
6. Menentukan *Severity* atau penilaian keseriusan efek dari bentuk kegagalan.
7. Menentukan *Occurrence* yaitu sesering apa penyebab kegagalan spesifik dari suatu proyek tersebut terjadi.
8. Menentukan *Detection* atau penilaian dari kemungkinan suatu alat dapat mendeteksi penyebab terjadinya bentuk kegagalan.

Menghitung RPN (*Risk Priority Number*) yaitu angka prioritas resiko yang didapatkan dari perkalian *severity*, *occurrence* dan *detection* dengan rumus

$$RPN = S \times O \times D$$

#### 2.6.1.6. *Logic Tree Analysis (LTA)*

Penyusunan *Logic Tree Analysis (LTA)* memiliki tujuan untuk memberikan prioritas pada tiap mode kerusakan dan melakukan tinjauan fungsi, kegagalan fungsi sehingga status mode kerusakan tidak sama. Prioritas suatu mode kerusakan dapat diketahui dengan menjawab pertanyaan-pertanyaan yang telah disediakan dalam LTA ini.

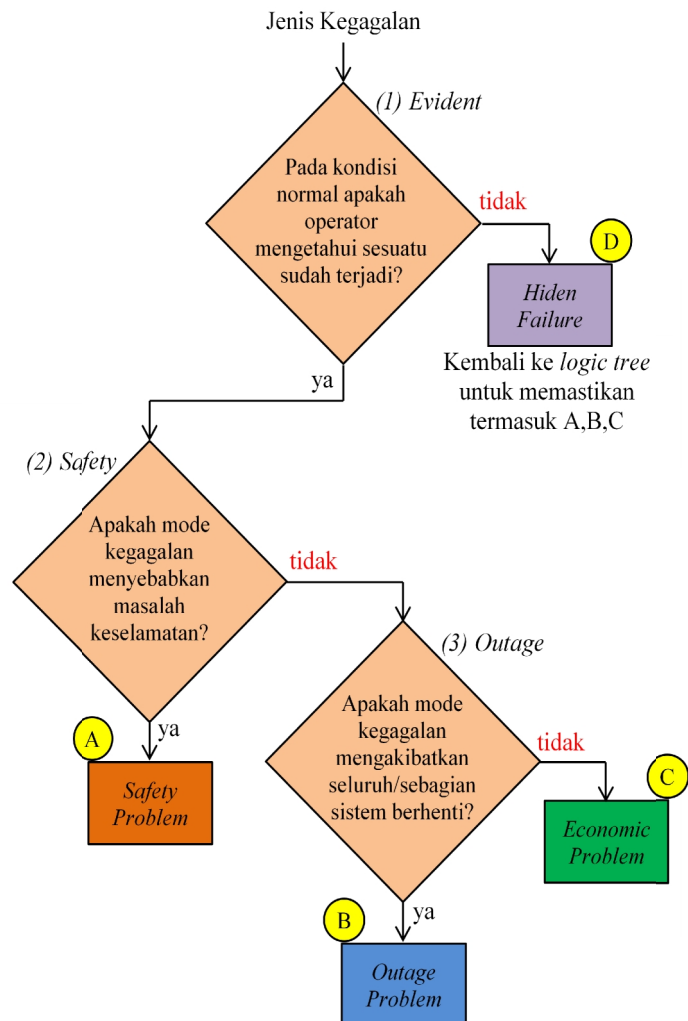
Analisis kekritisian menempatkan setiap mode kerusakan ke dalam satu dari empat kategori. Empat hal yang penting dalam analisis kekritisian yaitu sebagai berikut:

1. *Evident*, yaitu apakah operator mengetahui dalam kondisi normal, telah terjadi gangguan dalam sistem?
2. *Safety*, yaitu apakah mode kerusakan ini menyebabkan masalah keselamatan?
3. *Outage*, yaitu apakah mode kerusakan ini mengakibatkan seluruh atau sebagian mesin terhenti?
4. *Category*, yaitu pengkategorian yang diperoleh setelah menjawab pertanyaan- pertanyaan yang diajukan. Pada bagian ini komponen terbagi dalam 4 kategori, yakni:
  - a. Kategori A (*Safety problem*)
  - b. Kategori B (*Outage problem*)

c. Kategori C (*Economic problem*)

d. Kategori D (*Hidden failure*)

Pada Gambar 2.8 dapat dilihat struktur pertanyaan dari *Logic Tree Analysis* (LTA).



Gambar 2.8 Struktur *Logic Tree Analysis*

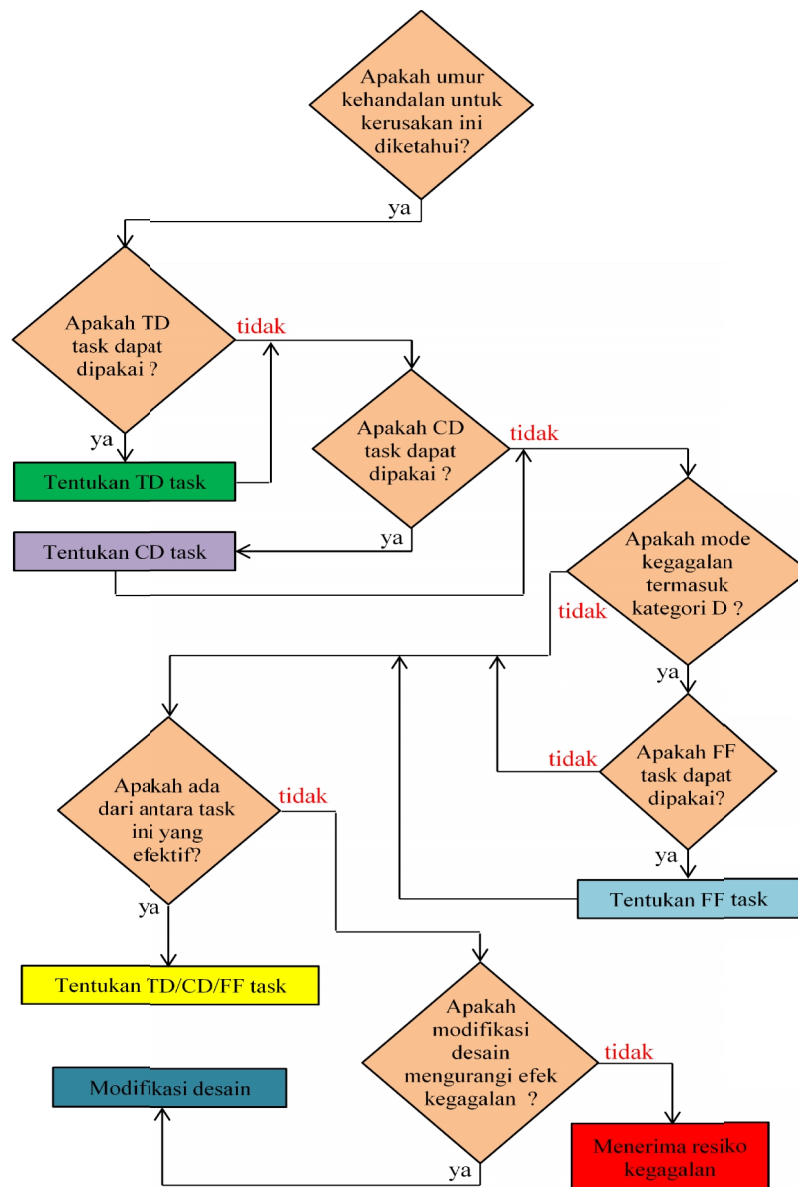
### 2.6.1.7. Penetapan tindakan perawatan

Pemilihan tindakan merupakan tahap terakhir dalam proses RCM. Proses ini akan menentukan tindakan yang tepat untuk mode kerusakan tertentu. Tugas yang dipilih dalam kegiatan *preventive maintenance* harus memenuhi syarat berikut:

- a. Aplikatif, tugas tersebut akan dapat mencegah kegagalan, mendeteksi kegagalan atau menemukan kegagalan tersembunyi.

- b. Efektif, tugas tersebut harus merupakan pilihan dengan biaya yang paling efektif di antara kandidat lainnya.

Pada Gambar 2.9 berikut dapat dilihat *Road map* pemilihan tindakan dengan pendekatan *Reliability Centered Maintenance* (RCM).



Gambar 2.9 *Road Map* Pemilihan Tindakan

Tindakan perawatan terbagi menjadi 3 jenis yaitu:

1. *Condition Directed* (CD), tindakan yang diambil yang bertujuan untuk mendeteksi kerusakan dengan cara *visual inspection*, memeriksa alat, serta

memantau sejumlah data yang ada. Apabila pada pendeteksian ditemukan gejala-gejala kerusakan peralatan maka dilanjutkan dengan perbaikan atau penggantian komponen.

2. *Time Directed* (TD), tindakan yang bertujuan untuk melakukan pencegahan langsung terhadap sumber kerusakan yang didasarkan pada waktu atau umur komponen.
3. *Finding Failure* (FF), tindakan yang diambil dengan tujuan untuk menemukan kerusakan peralatan yang tersembunyi dengan pemeriksaan berkala.

## 2.7. Penentuan Interval Perawatan

Dalam menentukan interval perawatan yang optimal pada tiap komponen, maka diperlukan parameter distribusi selang waktu kerusakan yang sesuai, biaya penggantian karena kerusakan dan biaya penggantian karena perawatan pada komponen mesin. Sebelum menentukan interval perawatan, maka dilakukan perhitungan biaya sebagai berikut:

- a. Biaya penggantian komponen karena perawatan (CM)

Biaya ini meliputi biaya tenaga kerja operator, biaya tenaga kerja *maintenance* atau mekanik dan harga komponen atau suku cadang. Rumus yang digunakan untuk menghitung biaya penggantian karena perawatan adalah :

$$CM = [(BiayaOperator + BiayaMekanik) \times MTTR] + HargaKomponen$$

- b. Biaya penggantian komponen karena kerusakan (CF)

Biaya penggantian ini meliputi biaya operator, biaya mekanik, biaya *downtime* dan harga komponen dimana keseluruhan biaya tersebut merupakan biaya kerugian yang diakibatkan karena kerusakan komponen. Rumus yang digunakan untuk menghitung biaya penggantian karena kerusakan adalah :



$$CF = [(BiayaOperator + BiayaMekanik + BiayaDowntime) \times MTTR] + HargaKomponen$$

Setelah diperoleh biaya penggantian komponen karena kerusakan (CF), biaya penggantian karena perawatan (CM) serta parameter-parameter yang sesuai dengan pengujian distribusi, maka langkah selanjutnya adalah menghitung interval perawatan yang optimal sebagai berikut :

$$\lambda(TM) = \frac{R'(TM)}{R(TM)}$$

maka diperoleh

$$\lambda(TM) \int_0^{TM} R(TM) dt + R(TM) = \frac{CF}{CF - CM}$$

Maka didapatkan

$$\frac{TM}{MTTF} = \frac{CF}{CF - CM} - 1$$

Sehingga

$$TM = \frac{CM}{CF - CM} \times MTTF$$

Dengan TM adalah interval perawatan yang optimal.

## 2.8. Penelitian Terdahulu

Prasetyo, Cahyo Purnomo, 2006 melakukan penelitian dengan analisa RCM pada unit penggilingan tebu di PG Meritjan Kediri. Metode awal yang dipakai untuk mencari penyebab permasalahan adalah metode *Failure Modes and Effect Analysis* (FMEA). Hasil analisa diperoleh bahwa mesin kritis pada unit penggilingan tersebut adalah *cane cutter*, *hammer unigrator* dan mesin penggiling. Dengan melakukan *proactive maintenance* bisa menurunkan biaya perawatan hingga 23,3%. Metode FMEA juga dipakai Susilo Handoko untuk menyusun strategi perawatan pada *boiler* di Pusdiklat Migas Cepu (2005). Dengan menggunakan analisa FMEA dan kehandalan, Susilo Handoko bisa menetapkan interval waktu antara perawatan *preventive* yang paling optimal dalam 360 hari.

Nisa Masruroh, 2008 melakukan penelitian perencanaan kegiatan perawatan pada unit produksi butiran padat di Petrokimia Kayaku Gresik menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance*. Didapatkan hasil interval perawatan untuk komponen yang memiliki kegagalan potensial diantaranya adalah *counter shaft* dengan *scheduled restoration task* dan interval perawatan selama 1.057,18 jam, *V-Belt C-64* dengan *scheduled discard task* dan interval perawatan selama 256,68 jam, *bearing stretcher 210* dengan *scheduled discard task* dan interval perawatan 106,65 jam, *chain drive RS 50* dengan *scheduled restoration task* dan interval perawatan selama 429,78 jam, dan *filter bag* dengan *scheduled restoration task* dan interval perawatan selama 338,64 jam.