

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pemeliharaan (*Maintenance*)

Pemeliharaan (*Maintenance*) menurut Moubray (1997) adalah kegiatan untuk memastikan aset (mesin atau peralatan) dapat terus melakukan operasi sesuai yang diharapkan. Adapun pemeliharaan yang dikutip oleh Mehairjan (2013) berdasarkan International Electrotechnical Commission (IEC) menjelaskan bahwa pemeliharaan merupakan kombinasi dari semua tindakan teknis, administratif dan manajerial selama siklus hidup suatu mesin atau peralatan yang dimaksudkan untuk mempertahankan atau mengembalikan fungsi operasi yang diharapkan. Penjelasan lain mengenai definisi pemeliharaan menurut Dhillon (2002) yaitu merupakan semua tindakan yang sesuai untuk mempertahankan suatu barang atau peralatan untuk mengembalikan ke kondisi tertentu. Tujuan utama dilakukannya pemeliharaan menurut O'Connor (2001) yaitu:

1. Mempertahankan ketersediaan alat atau fasilitas produksi untuk memenuhi kebutuhan yang sesuai dengan target dan rencana produksi.
2. Menjaga modal yang diinvestasikan dalam perusahaan selama jangka waktu yang ditentukan sesuai dengan kebijaksanaan perusahaan.
3. Menjaga kualitas produk yang dihasilkan berada pada tingkat yang diharapkan dan menjaga agar kegiatan produksi tidak mengalami gangguan.
4. Memperhatikan dan menghindari kegiatan-kegiatan operasi mesin dan peralatan yang dapat membahayakan keselamatan kerja.
5. Mencapai tingkat biaya serendah mungkin, dengan melaksanakan kegiatan *maintenance* secara efektif dan efisien.

2.2 Jenis Pemeliharaan

Menurut Dhillon (2002) berdasarkan tujuan dari pemeliharaan terdapat dua bentuk kebijakan dari program pemeliharaan, yaitu pemeliharaan pencegahan (*Preventive Maintenance*) dan pemeliharaan korektif (*Corrective Maintenance*).

1. *Preventive Maintenance* (Pemeliharaan Pencegahan)

Preventive maintenance dilakukan untuk memperpanjang umur peralatan ataupun meningkatkan *reliability* dari peralatan. Tindakan pemeliharaan ini bervariasi

mulai dari pemeliharaan ringan, pemeliharaan atau penggantian komponen secara terencana. *Preventive maintenance* merupakan tindakan pemeliharaan pencegahan dalam rangkaian aktivitas pemeliharaan dengan tujuan:

- Memperpanjang umur produktif aset dengan mendeteksi bahwa sebuah asset memiliki titik kritis penggunaan (*critical wear point*) dan mungkin akan mengalami kerusakan.
- Melakukan inspeksi secara efektif dan menjaga supaya kondisi peralatan selalu dalam keadaan baik.
- Mengeliminasi kerusakan peralatan dan hasil produksi yang cacat serta meningkatkan ketahanan mesin dan kemampuan proses.
- Mengurangi waktu yang terbuang oleh kerusakan mesin atau peralatan dengan membuat aktivitas pemeliharaan mesin atau peralatan.
- Menjaga biaya produksi seminimum mungkin.

2. *Corective Maintenance* (Pemeliharaan Korektif)

Pemeliharaan ini merupakan tindakan mengembalikan kondisi peralatan atau komponen saat mengalami kerusakan. Tindakan yang dilakukan berupa perbaikan atau penggantian dari komponen rusak. Kegiatan ini tidak direncanakan dan dilakukan apabila terjadi kerusakan mesin secara tiba-tiba (*breakdown*).

2.3 Terminologi Pemeliharaan

Terminologi dalam pemeliharaan yang menjadi pertimbangan dalam penentuan kebijakan pemeliharaan adalah *downtime* dan *breakdown*.

2.3.1 *Breakdown*

Menurut Picknell dan Sifonte (2017) *breakdown* dapat didefinisikan sebagai berhentinya mesin pada saat produksi yang melibatkan *engineering* dalam perbaikan. Dengan kata lain ketika suatu mesin atau peralatan tidak dapat melakukan fungsinya lagi dengan baik, maka mesin atau peralatan tersebut dapat dikatakan mengalami kerusakan atau *breakdown*. *Breakdown* terjadi apabila suatu mesin atau peralatan mengalami kerusakan. Kerusakan ini akan mempengaruhi kemampuan mesin secara keseluruhan dan menyebabkan penurunan hasil proses serta akan mempengaruhi kualitas dari produk yang dihasilkan.

2.3.2 Downtime

Menurut Picknell dan Sifonte (2017) *downtime* didefinisikan sebagai waktu mengganggu atau lama waktu mesin tidak dapat dijalankan untuk beroperasi sesuai yang diharapkan. Dengan kata lain *downtime* didefinisikan sebagai waktu peralatan atau mesin tidak dapat digunakan termasuk ketika mesin mengalami kerusakan, sehingga mesin atau peralatan tidak dapat menjalankan fungsinya sesuai dengan yang diharapkan dengan baik. Beberapa unsur didalam *downtime* adalah sebagai berikut:

- *Maintenance delay*

Maintenance delay merupakan waktu yang diperlukan untuk menunggu ketersediaan sumber daya *maintenance* yang akan melakukan proses perbaikan. Sumber daya *maintenance* dapat berupa teknisi, peralatan bantu, alat pengelasan, dan komponen pengganti.

- *Supply delay*

Supply delay merupakan waktu yang dibutuhkan oleh personil *maintenance* untuk memperoleh komponen yang diperlukan dalam melakukan proses perbaikan. *Supply delay* terdiri dari *lead time* administrasi, *lead time* produksi, dan waktu transportasi komponen ke lokasi perbaikan.

- *Acces time*

Acces time merupakan waktu yang dibutuhkan untuk memperoleh akses ke komponen yang mengalami kerusakan.

- *Diagnosis time*

Diagnosis time merupakan waktu yang dibutuhkan untuk mengidentifikasi penyebab kerusakan yang terjadi serta mempersiapkan langkah-langkah yang diperlukan untuk memperbaiki kerusakan.

- *Repair atau replacement time*

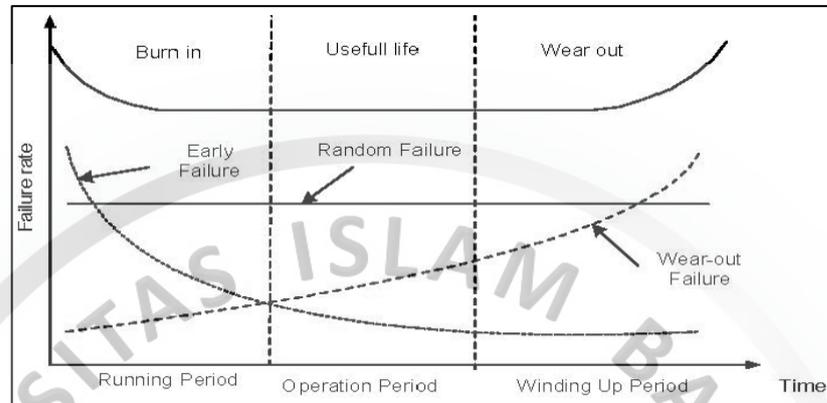
Repair atau replacement time merupakan waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki mesin agar mampu menjalankan fungsinya kembali dengan baik setelah mengetahui permasalahan dan mengakses ke komponen yang rusak.

- *Verification and alignment*

Verification and alignment merupakan waktu yang digunakan untuk memastikan bahwa fungsi dari suatu mesin atau peralatan telah kembali seperti kondisi semula.

2.4 Pola Laju Kerusakan

Pola laju kerusakan mesin atau komponen akan berubah sepanjang waktu operasi. Kurva Bathhtub merupakan suatu kurva yang menunjukkan pola laju kerusakan bagi suatu komponen. Menurut Ebeling (2019) pola laju kerusakan komponen dibagi menjadi tiga periode yang digambarkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Kurva Bathhub
Sumber: Ebeling (2019)

Menurut O'conor (2001) laju kerusakan setiap periode mempunyai karakteristik tertentu yang ditandai berdasarkan parameter bentuk dalam distribusi weibull atau parameter standar deviasi dalam distribusi lognormal.

a. Kerusakan dini (*early failure*)

Periode ini berlaku jika nilai parameter bentuk kurang dari satu. Periode ini disebut sebagai *running period (wear in period)* yang ditandai dengan penurunan laju kerusakan. Laju kerusakan yang terjadi disebut sebagai kerusakan dini. Hal ini disebabkan oleh berbagai penyebab seperti pengendalian kualitas yang tidak memenuhi syarat, performansi material dan tenaga kerja di bawah standar, desain yang tidak tepat, kesalahan pemakaian, kesalahan pengepakan dan lain-lain. Jika kerusakan ini terjadi lebih baik melakukan penggantian komponen.

b. *Random failure*

Periode ini berlaku jika nilai parameter bentuk sama dengan satu. Periode ini ditandai dengan laju kerusakan yang konstan. Kerusakan yang terjadi pada periode ini secara umum disebabkan oleh penambahan beban kerja secara tiba-tiba, kesalahan manusia.

c. Periode *wear out (wear out failure)*

Periode ini berlaku jika nilai parameter bentuk lebih dari satu. Periode ini ditandai dengan laju kerusakan yang meningkat karena kondisi komponen yang

memburuk. Bila suatu komponen berada pada periode ini lebih baik dilakukan pemeliharaan pencegahan untuk mengurangi terjadinya kerusakan yang lebih fatal. Periode ini disebabkan oleh komponen atau peralatan yang digunakan sudah melebihi umur komponen, pemeliharaan yang tidak memadai, aus karena pemakaian dan korosi.

2.5 Distribusi Kerusakan dan Perbaikan

Distribusi kerusakan merupakan informasi mengenai umur suatu peralatan atau mesin sedangkan distribusi pada perbaikan merupakan waktu yang diperlukan dalam perbaikan atau penggantian. Distribusi yang digunakan pada penelitian ini adalah distribusi Weibull, normal, lognormal, dan eksponensial. Penggunaan distribusi tersebut berdasarkan laju kerusakan mesin. Apabila laju kerusakan konstan maka menggunakan distribusi eksponensial. Apabila laju kerusakan tidak konstan maka distribusi yang digunakan adalah distribusi Weibull, normal, dan lognormal. Dalam menentukan distribusi kerusakan dan perbaikan yang sesuai dapat menggunakan menggunakan perhitungan *least square* dengan menentukan *index of fit*.

2.5.1 Distribusi Eksponensial

Distribusi eksponensial digunakan untuk menghitung *reliability* dari distribusi kerusakan yang memiliki laju kerusakan konstan. Distribusi ini mempunyai laju kerusakan yang tetap terhadap waktu, dengan kata lain probabilitas terjadinya kerusakan tidak tergantung pada umur alat. Distribusi ini merupakan distribusi yang paling mudah untuk dianalisa. Menurut Ebeling (2019) dalam penentuan nilai x dan y pada masing-masing distribusi menggunakan Persamaan II.1 dan II.2.

$$x_i = t_i \dots\dots\dots(II.1)$$

$$y_i = \ln \left(\frac{1}{1-F(t_i)} \right) \dots\dots\dots(II.2)$$

Dengan:

t_i : Waktu kerusakan ke- i

2.5.2 Distribusi Normal

Distribusi normal cocok untuk digunakan dalam memodelkan fenomena keausan mesin. Menurut Ebeling (2019) dalam penentuan nilai x dan y pada masing-masing distribusi menggunakan Persamaan II.3 dan II.4.

$$x_i = t_i = TTF \dots\dots\dots(II.3)$$

$$y_i = Z_i = \Phi^{-1}[F_i(t_i)] \dots\dots\dots(II.4)$$

Dengan:

t_i : Waktu kerusakan ke- i

$\Phi(z)$: Diperoleh dari tabel gamma

2.5.3 Distribusi Lognormal

Menurut Ebeling (2019) dalam penentuan nilai x dan y pada masing-masing distribusi menggunakan Persamaan II.5 dan II.6.

$$x_i = \ln(t_i) \dots\dots\dots(II.5)$$

$$y_i = Z_i = \Phi^{-1}[F_{i(t_i)}] \dots\dots\dots(II.6)$$

Dengan:

t_i : Waktu kerusakan ke- i

$\Phi(z)$: Diperoleh dari tabel gamma

2.5.4 Distribusi Weibull

Distribusi Weibull ini baik digunakan untuk laju kerusakan yang meningkat maupun laju kerusakan yang menurun. Menurut Ebeling (2019) dalam penentuan nilai x dan y pada masing-masing distribusi menggunakan Persamaan II.7 dan II.8.

$$x_i = \ln(t_i) \dots\dots\dots(II.7)$$

$$y_i = \ln\left(-\ln\left(\frac{1}{1-F(t_i)}\right)\right) \dots\dots\dots(II.8)$$

Dengan:

t_i : Waktu kerusakan ke- i

2.6 Identifikasi Distribusi Kerusakan dan Perbaikan

Menurut Ebeling (2019) dalam mengidentifikasi distribusi kerusakan dan perbaikan melalui dua tahap yaitu *index of fit (r)* dan *goodness of fit test*. Hasil identifikasi distribusi ini digunakan dalam penentuan persamaan yang akan digunakan dalam menghitung *reliability* dan *maintainability* dari suatu mesin atau peralatan.

2.6.1 Index of Fit (r)

Penentuan nilai *index of fit* dengan menggunakan metode *least square*. Kriteria distribusi yang dipilih adalah distribusi yang memiliki nilai *index of fit* terbesar untuk diuji menggunakan *goodness of fit test*. Persamaan umum dalam perhitungan *index of fit* menggunakan persamaan II.10 (Ebeling, 2019).

$$F_{(ii)} = \frac{i-0.3}{n+0.4} \dots\dots\dots(II.9)$$

$$r = \frac{n(\sum x_i y_i) - (\sum x_i)(\sum y_i)}{\sqrt{[n\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2][\sum y_i^2 - (\sum y_i)^2]}} \dots\dots\dots(\text{II.10})$$

Dengan:

- i : Kerusakan ke- i
- n : Jumlah data
- $F_{(t_i)}$: Pendekatan *median rank* pada waktu- t
- r : *Index of fit*

2.6.2 Goodness of fit test

Setelah perhitungan *index of fit* dilakukan, tahap selanjutnya adalah perhitungan *goodness of fit test* untuk nilai *index of fit*. Uji ini dilakukan dengan membandingkan antara hipotesa nol (H_0) yang menyatakan bahwa data kerusakan mengikuti distribusi pilihan dan hipotesis alternatif (H_1) yang menyatakan bahwa data kerusakan tidak mengikuti distribusi pilihan (Ebeling, 2019). Hipotesa nol (H_0) menyatakan bahwa waktu kerusakan tidak berasal pada distribusi lain.

Pengujian yang dilakukan dalam *goodness of fit* terdapat tiga macam yaitu *Mann's Test* untuk distribusi Weibull, *Bartlett's Test* untuk distribusi Eksponensial, dan *Kolmogorov-Smirnov Test* untuk distribusi Normal dan Lognormal. Nilai kritis tergantung pada derajat kepercayaan (α) pengujian sampel yang ada. Secara umum, apabila pengujian statistik ini berada di luar nilai kritis, maka hipotesa nol (H_0) diterima.

2.6.2.1 Bartlett's Test untuk Distribusi Eksponensial

Menurut Ebeling (2019) dalam menguji distribusi dengan *goodness of fit* pada distribusi eksponensial dapat dilakukan dengan langkah hipotesis *Bartlett's Test*. Menurut Ebeling (2019) untuk mengetahui nilai uji statistik *Bartlett's Test* menggunakan Persamaan II.11.

H_0 : Data kerusakan berdistribusi Eksponensial

H_1 : Data kerusakan tidak berdistribusi Eksponensial

Uji statistiknya adalah:

$$B = \frac{2r \left[\ln \left(\frac{1}{R} \right) \sum_{i=1}^r t_i - \left(\frac{1}{R} \right) \sum_{i=1}^r \ln t_i \right]}{1 + \frac{(r+1)}{6r}} \dots\dots\dots(\text{II.11})$$

Dengan:

- t_i : Waktu kerusakan ke- i

r : Jumlah data

B : Nilai uji statistik untuk uji *Barlett's Test*

Jika $X_{\frac{1-\alpha}{2}, r-1}^2 < B < X_{\frac{\alpha}{2}, r-1}^2$, maka H_0 diterima

2.6.2.2 Kolmogorov-Smirnov Test untuk Distribusi Normal dan Lognormal

Menurut Ebeling (2019) dalam menguji distribusi dengan *goodness of fit* pada distribusi normal dan lognormal dapat dilakukan dengan langkah hipotesis *Kolmogorov-Smirnov Test*.

H_0 : Data kerusakan berdistribusi Normal atau Lognormal

H_1 : Data kerusakan tidak berdistribusi Normal dan Lognormal

Uji statistiknya adalah : $D_n = \max\{D_1, D_2\}$

$$D_1 = \max\left\{\Phi\left(\frac{ti-\bar{t}}{s}\right) - \frac{i-1}{n}\right\} \quad D_2 = \max\left\{\frac{i}{n} - \Phi\left(\frac{ti-\bar{t}}{s}\right)\right\}$$

$$\bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^n \ln ti}{n} \dots\dots\dots (II.12)$$

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\ln ti - \bar{t})^2}{n-1} \dots\dots\dots (II.13)$$

Dengan:

t_i : Waktu kerusakan ke- i

\bar{t} : Rata-rata data waktu kerusakan

s : Standar deviasi

n : Jumlah data

Jika $D_n < D_{kritis}$ maka terima H_0 . Nilai D_{kritis} diperoleh dari tabel *critical value for Kolmogorov-Smirnov test for normality*.

2.6.2.3 Mann's Test untuk Distribusi Weibull

Menurut Ebeling (2019) dalam menguji distribusi dengan *goodness of fit* pada distribusi Weibull dapat dilakukan dengan langkah hipotesis *Mann's Test*.

H_0 : Data kerusakan berdistribusi Weibull

H_1 : Data kerusakan tidak berdistribusi Weibull

Uji statistiknya adalah:

$$k_1 = r/2$$

$$k_2 = (r-1)/2$$

$$M = \frac{k_1 \sum_{i=k_1+1}^{r-1} \left(\frac{\ln(ti+1) - \ln(ti)}{Mi}\right)}{k_2 \sum_{i=1}^{r-1} \left(\frac{\ln(ti+1) - \ln(ti)}{Mi}\right)} \dots\dots\dots (II.14)$$

$$M_i = Z_{i+1} + Z_i \dots\dots\dots (II.15)$$

$$Z_i = \ln\left[-\ln\left(1 - \frac{i-0.5}{n+0.25}\right)\right] \dots\dots\dots (II.16)$$

Dengan:

t_i : Waktu kerusakan ke- i

M : Nilai dari *Mann's Test*

M_i : Nilai pendekatan Mann's untuk data ke- i

r : Jumlah data

M_{tabel} : Nilai presentase distribusi F

α : Tingkat kepercayaan

Jika nilai $M_{hitung} < M_{tabel}$, maka H_0 diterima

2.7 Penentuan Parameter *Time to Failure* (TTF) dan *Time to Repair* (TTR)

Sebelum menentukan nilai MTTF dan MTTR terlebih dahulu mencari nilai parameter berdasarkan distribusi yang sesuai dengan data TTF dan TTR. Nilai parameter ini menjadi variabel dalam perhitungan MTTF dan MTTR. Menurut Picknell dan Sifonte (2017) TTF merupakan informasi waktu antar terjadi kerusakan, sehingga TTF dapat dicari dengan menggunakan Persamaan II.17. Adapun TTR merupakan informasi waktu yang diperlukan untuk memperbaiki mesin, sehingga untuk mendapatkan nilai TTR dapat menggunakan Persamaan II.18.

$$TTF = F_{i+1} - U_i \dots\dots\dots (II.17)$$

$$TTR = \text{time to repair} \dots\dots\dots (II.18)$$

Dengan:

F_{i+1} : Waktu kerusakan setelah kerusakan ke- i

U_i : Waktu kembali beroperasi setelah dilakukan perbaikan pada kerusakan ke- i

2.8 Perhitungan *Mean Time to Failure* dan *Mean Time to Repair*

Menurut Picknell dan Sifonte (2017) *Mean Time to Failure* (MTTF) merupakan rata-rata waktu antar kerusakan pada suatu komponen. Sementara *Mean Time to Repair* (MTTR) merupakan rata-rata waktu yang diperlukan untuk melakukan perbaikan. Perhitungan MTTF dan MTTR yang dilakukan berdasarkan jenis distribusi yang terpilih. Nilai MTTF dan MTTR dapat digunakan dalam penentuan tingkat *reliability* dan tingkat *maintainability*. Perhitungan MTTF dan MTTR harus mengikuti distribusi terpilih yang sesuai dengan data TTF dan TTR.

2.8.1 Distribusi Eksponensial

Menurut Ebeling (2019) dalam menghitung nilai MTTF dan MTTR pada distribusi eksponensial dapat menggunakan Persamaan II.21. Perhitungan nilai MTTF dan MTTR terlebih dahulu dengan menghitung parameter yang digunakan pada distribusi eksponensial. Melalui metode *Least square*, nilai konstanta b dapat diperoleh melalui Persamaan II.19 sehingga dapat diperoleh parameter λ pada Persamaan II.20.

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2} \dots\dots\dots (II.19)$$

$$\lambda = b \dots\dots\dots (II.20)$$

$$\text{MTTF/MTTR} = \frac{1}{\lambda} \dots\dots\dots (II.21)$$

Dengan:

λ : Laju kerusakan

2.8.2 Distribusi Normal dan Lognormal

Menurut Ebeling (2019) dalam menghitung nilai MTTF dan MTTR pada distribusi normal dan lognormal dapat menggunakan Persamaan II.24. Perhitungan nilai MTTF dan MTTR terlebih dahulu dengan menghitung parameter yang digunakan pada distribusi normal dan lognormal. Parameter yang digunakan pada distribusi normal dan lognormal adalah standar deviasi (s) dan nilai tengah dari distribusi (t_{med}). Parameter tersebut dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan II.22 dan II.23.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\ln t_i - \bar{t})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (II.22)$$

$$t_{med} = e^{\bar{t}} \dots\dots\dots (II.23)$$

$$\text{MTTF/MTT} = t_{med} e^{\frac{s^2}{2}} \dots\dots\dots (II.24)$$

Dengan:

s : Standar deviasi

\bar{t} : Rata-rata dari waktu

t_{med} : Nilai tengah dari distribusi

2.8.3 Distribusi Weibull

Menurut Ebeling (2019) dalam menghitung nilai MTTF dan MTTR pada distribusi Weibull dapat menggunakan Persamaan II.29. Perhitungan nilai MTTF dan MTTR terlebih dahulu dengan menghitung parameter yang digunakan pada distribusi Weibull. Parameter yang digunakan pada distribusi Weibull adalah parameter bentuk

(β) dan parameter skala (θ) . Melalui metode *Least square*, nilai konstanta a dan b dapat diperoleh pada Persamaan II.25 dan II.26 sehingga parameter tersebut dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan II.27 dan II.28.

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \dots\dots\dots (II.25)$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \dots\dots\dots (II.26)$$

$$\beta = b \dots\dots\dots (II.27)$$

$$\theta = e^{-\left(\frac{\alpha}{\beta}\right)} \dots\dots\dots (II.28)$$

$$MTTF/MTTR = \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \dots\dots\dots (II.29)$$

Dengan:

θ : Parameter skala

β : Parameter bentuk

Γ : Fungsi gamma

2.9 Metode *Reliability, Availability, dan Maintainability* (RAM)

Department of Deffense United States of America (2005) menyatakan metode RAM (*Reliability, Availability, dan Maintainability*) adalah strategi pendekatan untuk mengintegrasikan *reliability, availability* dan *maintainability* untuk mengidentifikasi dan mengukur kerusakan mesin. Perhitungan nilai kriteria pada RAM harus dilakukan pada tingkat terkecil (komponen). RAM dianggap sebagai metode yang paling signifikan untuk peningkatan profitabilitas.

Metode RAM ini dapat membantu dalam mendapatkan informasi yang diperlukan dari ketiga kriteria tersebut. Persiapan data dimulai dengan mengidentifikasi kapan mesin akan terjadi kerusakan dan menentukan waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki mesin atau peralatan. Dengan demikian, metode RAM membantu mengevaluasi MTTF dan MTTR.

2.10 Konsep Keandalan (*Reliability*)

Menurut Dhillon (2002) *reliability* adalah probabilitas bahwa suatu komponen akan menjalankan fungsinya sesuai dengan harapan untuk periode waktu tertentu ketika digunakan dalam kondisi yang ditentukan. *Reliability* dapat didefinisikan sebagai probabilitas bahwa suatu komponen atau sistem menginformasikan suatu fungsi yang dibutuhkan dalam periode waktu tertentu ketika digunakan dalam kondisi operasi (Ebeling, 2019). Variabel yang berkaitan dengan *reliability* adalah waktu,

dimana waktu tersebut mempengaruhi terhadap laju kerusakan (*failure rate*). Fenomena kerusakan yang terjadi mengikuti suatu pola distribusi tertentu.

2.10.1 Distribusi Ekponensial

Parameter yang digunakan dalam distribusi eksponensial adalah λ yang menunjukkan rata-rata laju kerusakan terjadi. Fungsi *reliability* yang terdapat dalam distribusi eksponensial yaitu (Ebeling, 2019).

$$R_{(t)} = e^{-(\lambda t)} \dots\dots\dots (II.30)$$

Dengan:

- λ = Laju kerusakan
- t = Selang waktu perbaikan

2.10.2 Distribusi Normal

Parameter yang digunakan dalam distribusi normal ini adalah μ yang menunjukkan nilai tengah dan σ yang menunjukkan standar deviasi dari data rata-rata waktu antar kerusakan dan rata-rata waktu perbaikan. Fungsi *reliability* yang terdapat dalam distribusi normal yaitu (Ebeling, 2019).

$$R_{(t)} = 1 - \Phi \left[\frac{t - \bar{t}}{s} \right] \dots\dots\dots (II.31)$$

Dengan:

- Φ : Probabilitas nilai z
- \bar{t} : Rata-rata waktu
- t : Selang waktu perbaikan
- s : Simpangan baku

2.10.3 Distribusi Lognormal

Distribusi lognormal menggunakan dua parameter yaitu s yang menunjukkan parameter bentuk (*shape parameter*) dan t_{med} sebagai parameter lokasi (*location parameter*) yang merupakan nilai tengah dari suatu distribusi kerusakan. Distribusi ini dapat memiliki berbagai macam bentuk, sehingga sering dijumpai bahwa data yang sesuai dengan distribusi Weibull juga sesuai dengan distribusi lognormal. Fungsi *reliability* yang terdapat pada distribusi lognormal yaitu (Ebeling, 2019).

$$R_{(t)} = 1 - \Phi \left[\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}} \right] \dots\dots\dots (II.32)$$

Dengan:

Φ : Probabilitas nilai z

t : Selang waktu perbaikan

t_{med} : Parameter lokasi

2.10.4 Distribusi Weibull

Dua parameter yang digunakan dalam distribusi Weibull ini yaitu parameter θ yang disebut dengan parameter skala (*scale parameter*) dan parameter β yang disebut dengan parameter bentuk (*shape parameter*). Parameter β digunakan untuk menentukan laju kerusakan dari pola data yang terbentuk, sedangkan parameter θ digunakan untuk menentukan nilai tengah dari pola data yang ada. Fungsi *reliability* yang terdapat dalam distribusi Weibull yaitu (Ebeling, 2019).

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} \dots\dots\dots (II.33)$$

Dengan:

t : Selang waktu perbaikan

θ : Parameter skala

β : Parameter bentuk

2.11 Konsep Kemampuan Pemeliharaan (*Maintainability*)

Maintainability didefinisikan sebagai probabilitas bahwa komponen atau sistem yang rusak dapat diperbaiki kembali pada kondisi yang telah ditentukan selama jangka waktu tertentu, ketika dilakukan pemeliharaan sesuai dengan prosedur yang ada (Ebeling, 2019). Menurut Dhillon (2002), *maintainability* didefinisikan sebagai probabilitas suatu sistem atau komponen akan kembali pada keadaan yang memuaskan dan dalam kondisi operasi mampu mencapai waktu *downtime* minimum. Tingkat *maintainability* erat kaitannya dengan nilai MTTR. Apabila nilai MTTR tinggi, maka tingkat *maintainability* tersebut rendah. Begitu pula sebaliknya apabila nilai MTTR rendah maka tingkat *maintainability* tersebut tinggi. Tinggi rendahnya nilai *maintainability* menunjukkan tingkat kemudahan dalam pemeliharaan.

2.11.1 Distribusi Eksponensial

Persamaan yang digunakan dalam menghitung nilai *maintainability* menurut Dhillon (2002) ditunjukkan pada Persamaan II.34.

$$M(t) = 1 - e^{-\frac{t}{MTTR}} \dots\dots\dots (II.34)$$

Dengan:

t : Waktu yang digunakan dalam perbaikan

MTTR : Rata-rata waktu yang diperlukan untuk melakukan perbaikan

2.11.2 Distribusi Normal

Persamaan yang digunakan dalam menghitung nilai *maintainability* menurut Dhillon (2002) ditunjukkan pada Persamaan II.35.

$$M_{(t)} = \frac{1}{s\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-t_{med}}{s}\right)^2} \dots\dots\dots (II.35)$$

Dengan:

s : Standar deviasi

t : Waktu yang digunakan dalam perbaikan

t_{med} : Parameter lokasi

2.11.3 Distribusi Lognormal

Persamaan yang digunakan dalam menghitung nilai *maintainability* menurut Dhillon (2002) ditunjukkan pada Persamaan II.36.

$$M_{(t)} = \frac{1}{ts\sqrt{2\pi}} e^{\left(\frac{(\ln t - \bar{t})^2}{2s^2}\right)} \dots\dots\dots (II.36)$$

Dengan:

s : Standar deviasi

t : Waktu yang digunakan dalam perbaikan

\bar{t} : Rata-rata waktu perbaikan

2.11.4 Distribusi Weibull

Persamaan yang digunakan dalam menghitung nilai *maintainability* menurut Dhillon (2002) ditunjukkan pada Persamaan II.37.

$$M_{(t)} = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} \dots\dots\dots (II.37)$$

Dengan:

t : Waktu yang digunakan dalam perbaikan

θ : Parameter skala

β : Parameter bentuk

2.12 Konsep Ketersediaan (*Availability*)

Availability didefinisikan sebagai probabilitas bahwa komponen atau sistem beroperasi sesuai dengan fungsi yang diperlukan pada titik waktu tertentu ketika digunakan dibawah kondisi operasi yang telah ditetapkan (Ebeling, 2019). Semakin tinggi nilai dari *availability*, semakin tinggi kemampuan mesin atau peralatan dalam menjalankan fungsinya. Menurut Jardine dan Tsang (2013) persamaan untuk mengetahui nilai *availability* dapat menggunakan Persamaan II.38.

$$A_{(t)} = 1 - D_{(t)} \dots\dots\dots(\text{II.38})$$

Dengan:

$D_{(t)}$: Probabilitas *downtime* pada selang waktu perbaikan- t

t : Selang waktu perbaikan

Komponen dalam suatu sistem dapat terkait satu sama lain dalam dua cara yaitu secara sistem seri atau paralel. Pada sistem seri semua komponen harus berfungsi agar sistem dapat berfungsi. Nilai *availability* dalam sistem seri dapat diketahui dengan menggunakan Persamaan II.39.

$$A_{s(t)} = \prod_{i=1}^n A_{i(t)} \dots\dots\dots(\text{II.39})$$

Dengan:

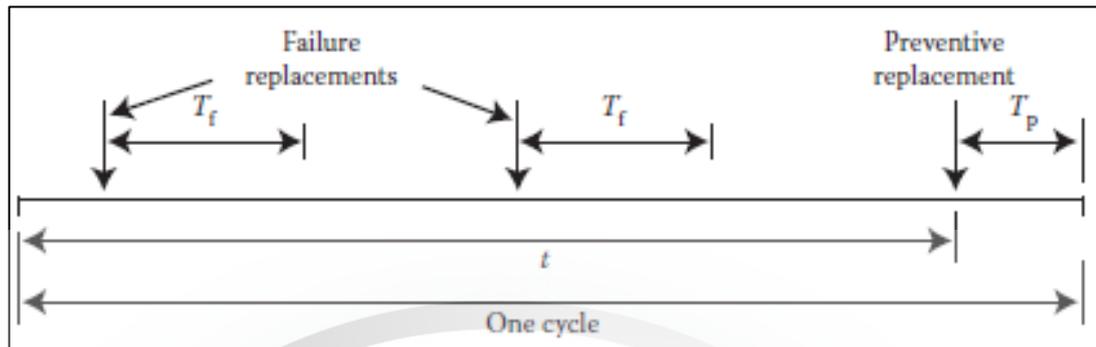
$A_{i(t)}$ = *Availability* komponen i

2.13 Model Penentuan Interval Waktu *Preventive Maintenance*

Model yang digunakan dalam penentuan interval waktu pemeliharaan pencegahan (*preventive maintenance*) adalah model *age replacement*. Tindakan *preventive maintenance* berupa pemeliharaan atau penggantian dengan model *age replacement* dilakukan pada saat mesin atau peralatan sudah mencapai umur yang ditetapkan yaitu sebesar t . Jika pada selang waktu t tidak terdapat kerusakan, maka akan tetap dilakukan penggantian sebagai tindakan pencegahan. Frekuensi *preventive maintenance* yang meningkat menyebabkan *downtime* karena pemeliharaan akan meningkat, tetapi *downtime* karena kerusakan mesin akan berkurang. Model *age replacement* untuk meminimalkan *downtime* ini dapat digambarkan pada Gambar 2.2.

Model *age replacement* memiliki pertimbangan menggunakan multikriteria yang mengintegrasikan antara *reliability*, *maintainability*, dan *availability*. Variabel yang menghubungkan *availability* dengan *reliability* dan *maintainability* berkaitan dengan ukuran waktu yaitu *Mean time to failure* (MTTF) dan *Mean time to repair* (MTTR). MTTF digunakan dalam menghitung nilai rata-rata waktu kerusakan apabila

pemeliharaan dilakukan pada waktu t sedangkan MTTR digunakan dalam penentuan waktu untuk melakukan perbaikan kerusakan (T_f).



Gambar 2.2 Model *age replacement*: minimalkan *downtime*
 Sumber: Jardine dan Tsang (2013)

Menurut Jardine dan Tsang (2013) *downtime* yang diakibatkan oleh *preventive replacement* dirumuskan pada Persamaan II.41.

$$N(t) = \frac{MTTF}{1-R(t)} \dots \dots \dots (II.40)$$

$$D(t) = \frac{\text{Total ekspektasi downtime per siklus}}{\text{Ekspektasi panjang siklus}} \dots \dots \dots (II.41)$$

$$D(t) = \frac{T_p R(t) + T_f (1-R(t))}{(t+T_p)R(t) + ((N(t)+T_f) (1-R(t)))} \dots \dots \dots (II.41)$$

Dengan:

- t : Selang waktu pemeliharaan atau penggantian pencegahan
- T_f : Waktu untuk melakukan perbaikan kerusakan
- T_p : Waktu untuk melakukan pemeliharaan
- $R(t)$: *Reliability* pada selang waktu (t) pemeliharaan
- $N(t)$: Nilai rata-rata waktu kerusakan apabila pemeliharaan dilakukan pada waktu t
- $D(t)$: Probabilitas *downtime* per unit waktu untuk pemeliharaan

Tujuan dari persamaan II.41 adalah menentukan usia optimal (t) di mana pada waktu tersebut kegiatan pemeliharaan harus dilakukan sehingga total *downtime* dapat diminimalkan. Total ekspektasi *downtime* dipengaruhi oleh dua kondisi yaitu *downtime* yang diharapkan apabila kegiatan pemeliharaan dilakukan dan *downtime* yang diharapkan karena kerusakan. Total *downtime* tersebut dibandingkan dengan ekspektasi panjang siklus apabila kegiatan pemeliharaan dilakukan. Ekspektasi panjang siklus dipengaruhi oleh panjang siklus karena pemeliharaan dan panjang siklus kerusakan.