

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Kajian Induktif

Terdapat beberapa penelitian sebelumnya yang menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) sebagai teknik pengolahan data. Salah satu aplikasi RCM adalah pada sistem distribusi tenaga listrik untuk mengoptimalkan perawatan komponen (Yssaad, et al., 2014). Tujuan dari penelitian yaitu mengembangkan sebuah program perawatan yang efektif dalam hal biaya. Prosedur pelaksanaan penelitian didasarkan pada metode RCM yang memprioritaskan kebutuhan perawatan berdasarkan mode kegagalan (FMECA), lalu memilih aktivitas yang efektif untuk mode kegagalan yang paling kritis. Hasil dari penelitian berupa rekomendasi untuk mengintegrasikan lagi RCM ke dalam strategi perawatan perusahaan, termasuk implementasi yang optimal. RCM dapat mendefinisikan kebutuhan secara tepat, mengidentifikasi fungsi kritis dari sebuah sistem, dan mengembangkan sebuah kebijakan perawatan untuk sistem dan komponennya.

Selain itu modifikasi dari RCM yaitu *rational reliability centered maintenance* (RRCM) sebagai metode untuk mengoptimalkan manajemen perawatan pada peralatan distribusi listrik yang bertujuan untuk meningkatkan keandalan komponen dari sebuah mesin kritis menggunakan hasil dari analisis FMEA (Yssaad & Abene, 2015). Teknik desain dan analisis terstruktur digunakan untuk mengidentifikasi komponen kritis. Lalu memodelkan sistem menggunakan *reliability block diagram* (RBD) dan *fault tree analysis* (FTA) untuk mengidentifikasi jalur yang menuju titik lemah sistem dan

menentukan karakteristiknya berdasarkan data penjadwalan periode perawatan pencegahan, setelah itu menentukan karakteristik dan indeks reliabilitas dengan metode dinamis seperti grafik markov dan jaringan petri. Simulasi monte carlo digunakan untuk menyimulasikan dan analisis reliabilitas. Hasil dari penelitian membuktikan bahwa implementasi manajemen perawatan yang efektif menggunakan pendekatan RRCM dapat meningkatkan *reliability* dan *availability* dari sebuah komponen mesin distribusi listrik, meningkatkan keselamatan kerja dan lingkungan, dan mengurangi biaya total operasional dan biaya total perawatan.

Metode perawatan *Reliability Centered Maintenance* (RCM) juga dapat diterapkan pada mesin *cone crusher* (Sinha & Mukhopadhyay, 2014). Tujuan dari penelitian ini adalah berfokus pada reliabilitas mesin *cone crusher* sehingga dapat meningkatkan produktivitas sebuah sistem manufaktur. Alat bantu reliabilitas yang digunakan dalam penelitian yaitu FMEA dan *total time to test-Plot* (TTT-plot). Data masa lalu yang dilakukan analisis yaitu data keadaan mesin *cone crusher* selama satu tahun ke belakang. FMEA digunakan untuk menemukan potensi kegagalan pada mesin merencanakan penanganan kegagalan tersebut. TTT-plot digunakan untuk menilai keadaan mesin dengan menganalisis *time between failure*. Hasil FMEA menunjukkan komponen kritis pada mesin *cone crusher* yaitu *dust seal*, *lubrication oil pipe*, *mantle* dan *owl* yang berarti kerusakan pada komponen tersebut memiliki dampak yang besar sehingga harus diberi prioritas lebih dalam pengambilan keputusan strategi perawatan. Sementara itu TTT-plot menunjukkan bahwa perawatan yang telah dilakukan terhadap komponen mesin *cone crusher* sudah optimal. Jika perawatan suatu alat sudah optimal maka perawatan pencegahan pada mesin tersebut dapat menurunkan biaya perawatan dan dapat memprediksi kapan kegagalan akan terjadi.

pemilihan strategi perawatan mesin Analytical Hierarchy Process (AHP) dan perancangan strategi perawatan dengan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) dapat diaplikasikan pada manufaktur berbasis proses (Vishnu & V., 2016). Penelitian ini bertujuan untuk mengusulkan model RCM yang sesuai dengan segala kondisi manufaktur berbasis proses dimana terdapat hubungan kompleks dan komponen yang kritis. Model RCM yang diusulkan dapat menjadi panduan perusahaan dalam mengembangkan sistem *database* untuk mengawasi aktivitas perawatan RCM, tingkat keadaan dan kebutuhan

setiap mesin dan komponen dalam pabrik dengan biaya yang efektif untuk meningkatkan *availability* dan *profitability*. Langkah pertama dalam usulan model RCM yaitu pemilihan sistem dan pengumpulan data, pembuatan *functional block diagram*, analisis kegagalan fungsional, FMEA, analisis tingkat kritis, penyusunan prioritas dengan AHP, pemilihan tugas, pembuatan prosedur kegiatan perawatan, penilaian performansi, dan peninjauan. Model RCM ini telah diterapkan pada Travancore Titanium Products Ltd dengan hasil komponen yang kritis telah teridentifikasi dan waktu rata-rata antar kegagalan beserta strategi perawatan yang tepat untuk masing-masing komponen kritis sehingga biaya ekstra yang muncul dengan mengadopsi perawatan pencegahan akan seimbang dengan penghematan biaya dari penerapan perawatan kegagalan.

Strategi perawatan mesin dengan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) dan *Particle Swarm Optimization* (PSO) terbukti dapat merancang strategi perawatan yang efektif secara biaya dibandingkan dengan strategi perawatan konvensional seperti *Time-Based Maintenance* (TBM) dan *Conditional-Based Maintenance* (CBM) pada komponen transmisi (Heo, et al., 2014). Tujuan dari penelitian adalah mengembangkan model RCM untuk sistem transmisi yang berfokus pada menjaga fungsi sistem agar tetap berjalan dan reliabilitas sistem. Model RCM yang digunakan terdiri dari *component state model* untuk menggambarkan tingkat penurunan komponen dan *impact model* untuk analisis dampak dari keadaan komponen dan perawatan pada sistem secara keseluruhan. Dengan model RCM strategi perawatan dapat ditentukan dengan PSO.

Lalu aplikasi RCM pada kondisi berbeda yaitu pada peralatan penambangan terbuka untuk meningkatkan produktivitas dari alat penambangan tersebut (Morad, et al., 2014). Metode RCM diterapkan untuk meningkatkan produktivitas alat tambang dengan cara mencari proses perawatan yang optimal yaitu dapat menurunkan jumlah *downtime* dan *breakdown* alat tambang. Data yang digunakan berasal dari data perawatan komponen truk pada tambang yang terdiri dari waktu operasional dan usia komponen truk. Penelitian menggunakan analisis diagram blok dan simulasi monte carlo untuk menentukan aktivitas perawatan, tren analisis untuk menentukan model probabilitas komponen, Hasil dari penelitian tersebut adalah produktivitas dan efisiensi alat dapat

meningkat simultan dengan menurunkan biaya yang dikeluarkan untuk alat dan meningkatkan keuntungan karena ketersediaan alat yang meningkat.

Dari penelitian yang telah dijabarkan di atas, metode RCM cocok diterapkan dalam berbagai jenis industri. manfaat penerapan metode perawatan RCM yang didapat perusahaan yaitu dapat meningkatkan reliabilitas komponen, meningkatkan produktivitas, sekaligus menghemat biaya perawatan yang dikeluarkan perusahaan.

Tabel 2.1 Kajian Induktif

Penulis	Tahun	Judul	Latar Belakang	Metode	Hasil
Heo, J., Kim, M. & Lyu, J.	2014	Implementation of Reliability-Centered Maintenance for transmission components using Particle Swarm Optimization	mengembangkan model RCM untuk sistem transmisi yang menjaga fungsi sistem agar tetap berjalan	<i>Reliability centered Maintenance, Particle Swarm Optimization</i>	Penggambaran keadaan komponen yang tepat sehingga dapat menentukan strategi perawatan yang tepat
Morad, A. M., Pourgol-Mohammad, M. & Sattarvand, J	2014	Application of reliability-centered maintenance for productivity improvement of open pit mining equipment: Case study of Sungun Copper Mine	Menurunkan kejadian kerusakan komponen dan menurunkan total waktu kerusakan komponen	<i>Reliability centered Maintenance</i>	produktivitas dan efisiensi alat dapat meningkat simultan dengan menurunkan biaya yang dikeluarkan untuk alat dan meningkatkan keuntungan karena ketersediaan alat yang meningkat.
Sinha, R. S. & Mukhopadhyay, A.K	2014	Reliability centered maintenance of cone crusher: a case study	Permintaan batu meningkat sehingga produksi harus efisien	<i>failure modes and effects analysis, fault tree analysis, reliability centered maintenance</i>	Komponen kritis pada mesin penghancur batu pada kondisi perawatan yang optimal

(lanjutan tabel 2.1)

Penulis	Tahun	Judul	Latar Belakang	Metode	Hasil
Vishnu, C. R. & V., R	2016	Reliability Based Maintenance Strategy Selection in Process Plants: A Case Study	Mengusulkan model RCM yang dapat digunakan pada setiap sistem manufaktur	<i>Reliability Centered Maintenance, Analytical Hierarchy Process</i>	Hasil dari simulasi menunjukkan bahwa aktivitas perawatan tidak dilaksanakan secara optimal pada pabrik
Yssaad, B. & Abene, A	2015	Rational Reliability Centered Maintenance Optimization for power distribution systems	mengembangkan program perawatan yang efektif untuk menurunkan biaya	<i>Rational reliability centered maintenance</i>	Implementasi efektif RRCM dapat meningkatkan reliabilitas dan ketersediaan sistem listrik, meningkatkan keamanan pegawai, dan menurunkan biaya perawatan
Yssaad, B., Khiat, M. & Chaker, A	2014	Reliability centered maintenance optimization for power distribution systems	mengembangkan prosedur program perawatan praktis yang efektif secara biaya pada sistem distribusi listrik	<i>Failure Modes and Effects Criticality Analysis, Reliability Centered Maintenance</i>	Penyusunan strategi dan implementasi perawatan terintegrasi

2.2 Kajian Deduktif

2.2.1 Manajemen Perawatan

Manajemen perawatan atau *maintenance management* adalah segala pengelolaan yang menentukan tujuan aktivitas perawatan, strategi perawatan, dan tanggung jawab beserta implementasinya (Márquez, 2007).

Pada umumnya, tujuan manajemen perawatan terbagi dalam 3 kelompok besar yaitu (Márquez, 2007):

1. Tujuan teknis. Tujuan ini bergantung pada sektor industri suatu entitas bisnis beroperasi. Pada umumnya, tujuan teknis suatu perusahaan yaitu mempertahankan atau meningkatkan ketersediaan dan kemampuan operasional suatu aset dan meningkatkan keselamatan kerja.
2. Tujuan legal/aturan pemerintah. Tujuan legal pada manajemen perawatan normalnya hanya untuk sebatas memenuhi aturan yang ada untuk berbagai hal.
3. Tujuan finansial. Tujuan finansial manajemen perawatan yaitu untuk memenuhi tujuan teknis dengan biaya yang minimal. Dari sudut pandang jangka panjang biaya siklus hidup peralatan secara menyeluruh seharusnya minimal.

2.2.2 Jenis perawatan

Terdapat 2 jenis perawatan yang dijelaskan sebagai berikut:

- a. *Preventive maintenance* (perawatan pencegahan)

Preventive maintenance (perawatan pencegahan) adalah perawatan yang dilakukan dengan mengawasi komponen/sistem agar dalam kondisi operasional optimal dengan cara melakukan pemeriksaan, deteksi dini, dan perbaikan secara sistematis sebelum terjadinya kegagalan atau berkembangnya tanda kegagalan pada sistem (Dhillon,

2002). Tujuan perawatan pencegahan antara lain menurunkan kerusakan pada komponen kritis, meminimalkan kerugian produksi akibat kegagalan komponen, dan meningkatkan umur produktif suatu komponen. Dalam perawatan pencegahan terdapat 7 elemen yang terdiri dari *inspection, servicing, calibration, testing, alignment, adjustment, dan installation*.

b. *Corrective maintenance* (perawatan korektif)

Corrective maintenance (perawatan korektif) adalah aktivitas yang dilakukan secara berulang-ulang karena adanya kegagalan pada komponen/sistem atau perawatan pencegahan yang belum dapat memenuhi kebutuhan agar mengembalikan komponen/sistem ke dalam kondisi operasional (Dhillon, 2002). Perawatan korektif biasanya merupakan perawatan yang tidak terjadwal karena kebutuhan perawatan komponen/sistem yang tidak dapat diprediksi. Perawatan korektif dapat diklasifikasi lebih lanjut yaitu *fail-repair, salvage, rebuild, overhaul, dan servicing*.

2.2.3 *Reliability-Centered Maintenance*

Reliability-Centered Maintenance (RCM) adalah proses sistemis untuk menentukan tujuan aktivitas perawatan untuk memastikan sebuah mesin dapat berfungsi secara terus menerus dalam penggunaan secara normal (Dhillon, 2002). Fokus dari *Reliability-Centered Maintenance* adalah perawatan pencegahan pada kegagalan yang sering terjadi.

Dalam RCM terdapat 4 komponen utama yaitu *reactive maintenance, preventive maintenance, predictive testing and inspection, dan proactive maintenance*.

1. *Reactive Maintenance*

Reactive maintenance yang juga biasa disebut *breakdown maintenance, fix-when-fail maintenance, run-to-failure maintenance, atau repair maintenance*. Pendekatan ini melakukan pergantian komponen/mesin hanya pada saat komponen atau mesin tidak bekerja sesuai dengan fungsinya. Asumsi dalam pendekatan ini yaitu setiap komponen, mesin atau sistem memiliki

kemungkinan yang sama untuk rusak. *Reactive maintenance* dapat dipraktikkan secara efektif hanya jika dilakukan sebagai keputusan yang disengaja untuk memilih melakukan perawatan reaktif setelah melakukan analisis RCM dengan membandingkan risiko dan biaya perawatan untuk mitigasi risiko tersebut dan biaya akibat kegagalan mesin atau sistem.

2. *Preventive Maintenance*

Preventive maintenance (PM) yang juga disebut *time-driven maintenance* atau *interval-based maintenance* dilakukan tanpa melihat kondisi komponen. Kegiatan *preventive maintenance* terdiri dari jadwal pemeriksaan periodik, penggantian komponen, perbaikan komponen, penyesuaian setelan mesin, kalibrasi, pelumasan, dan pembersihan. *preventive maintenance* dijadwalkan secara rutin dengan sejumlah pemeriksaan dan pemeliharaan dengan interval tertentu agar mengurangi kegagalan pada komponen yang rentan terhadap kegagalan fungsi.

Dalam menentukan jarak waktu pelaksanaan PM parameter yang digunakan yaitu *Mean Time Between Failure* (MTBF) Setelah interval waktu didapatkan langkah selanjutnya yaitu pemantauan terhadap kondisi mesin atau peralatan dengan desain sebuah *predictive testing and inspection* (PTI). Tujuan pemantauan mesin atau peralatan yaitu untuk menentukan kondisi mesin pada saat itu dan memprediksi kecenderungan kondisi mesin untuk perawatan kondisi mesin atau peralatan di masa depan. Beberapa teknik yang digunakan untuk peramalan kondisi mesin:

- a. Antisipasi kegagalan dari pengalaman masa lalu
- b. Distribusi statistik kegagalan
- c. Pendekatan konservatif

3. *Predictive Testing and Inspection* (PTI)

predictive testing and inspection juga sering disebut sebagai *predictive maintenance*. Untuk mengetahui kondisi sebuah mesin, PTI menggunakan data performansi, teknik uji non intrusif, dan pengamatan visual. Analisis dari

kondisi mesin digunakan untuk membuat perencanaan dan penjadwalan perawatan mesin.

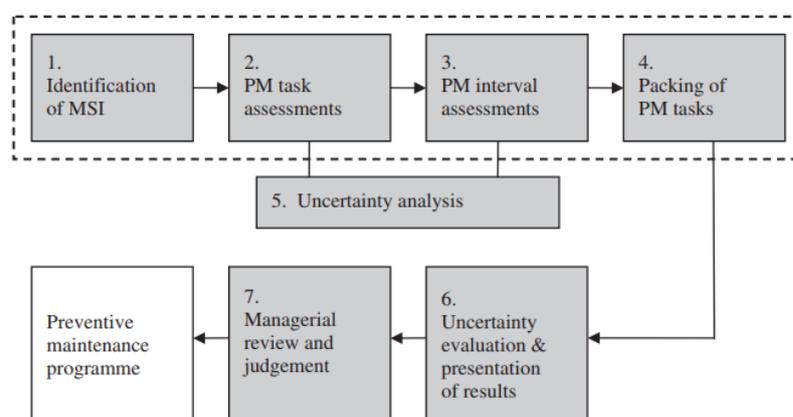
4. *Proactive Maintenance*

Hal yang membedakan *proactive maintenance* dari jenis *maintenance* lain yaitu mempraktikkan proses perbaikan secara terus-menerus dengan menggunakan umpan balik dan komunikasi untuk memastikan bahwa perubahan dalam desain atau proses memberikan pengaruh positif. Penggunaan *root cause analysis* dan *predictive analysis* pada *Proactive maintenance* ditujukan agar dapat meningkatkan efektivitas dari pemeliharaan serta evaluasi periodik terhadap interval pemeliharaan dan pelaksanaannya, serta mengintegrasikan fungsi dengan dukungan pemeliharaan ke dalam program perencanaan pemeliharaan.

Penelitian yang dilakukan oleh Selvik & Aven (2011) menjelaskan tentang metode RCM dalam 3 fase yang dijelaskan sebagai berikut:

5. Fase I : Identifikasi *maintenance significance items* (MSI)
6. Fase II : Penugasan PM yang sesuai dengan MSI
7. Fase III : Implementasi dan memperbarui tugas PM

Ketiga fase tersebut dijelaskan dalam sebuah kerangka kerja *reliability and risk centered maintenance* (RRCM) berikut (Selvik & Aven, 2011):



Gambar 2.1 **RRCM Framework**
sumber: (Selvik & Aven, 2011)

Kotak pertama sampai kotak ke empat mendeskripsikan fase I dan fase II dengan aplikasi dari PM *task assessment* dan PM *interval assessment*. Langkah selanjutnya yang mencakup fase III yaitu analisis ketidakpastian yang mungkin terjadi dan dikonsultasikan dengan bagian manajemen agar ditindak lanjuti untuk membuat program PM.

2.2.4 Teori Keandalan

Menurut pendapat para pakar, reliabilitas adalah probabilitas suatu komponen atau sistem dimana komponen atau sistem tersebut berfungsi secara normal dalam kondisi tertentu dan dalam selang waktu tertentu (Ebeling, 1997). Untuk menghitung keandalan sebuah komponen dari suatu sistem digunakan formula sebagai berikut (Dhillon, 2002):

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 - \int_0^t f(t)dt \quad (1)$$

Dengan:

$R(t)$ = keandalan komponen pada saat t

$F(t)$ = fungsi distribusi kumulatif kegagalan komponen

$f(t)$ = fungsi tingkat kegagalan komponen

Keandalan sistem dengan komponen banyak, digunakan formula sebagai berikut:

$$R = R_{CA} \times R_{CB} \times R_{CC} \dots R_{ZZ} \quad (2)$$

Dengan:

R_{CA} = keandalan (*reliability*) komponen A

R_{CB} = keandalan (*reliability*) komponen B

R_{CC} = keandalan (*reliability*) komponen C

Beberapa parameter utama yang menggambarkan keandalan:

- a. *Mean Time Between Failure* adalah jarak waktu rata-rata antar kegagalan komponen atau sistem yang dapat diperbaiki
- b. *Mean Time to Repair* adalah jarak waktu rata-rata antara kebutuhan perbaikan
- c. *Mean Time to Failure* adalah jarak waktu rata-rata antar kegagalan komponen atau sistem yang harus diganti
- d. *Failure Rate* adalah frekuensi kegagalan suatu komponen atau sistem
- e. *Mean Life to Component* adalah rata-rata usia kegunaan komponen

2.2.5 Distribusi Statistik untuk Menghitung Keandalan

Dalam menghitung keandalan, distribusi statistik digunakan untuk menentukan interval perawatan. Berikut adalah distribusi yang digunakan dalam penelitian ini:

- a. Distribusi Eksponensial

Distribusi eksponensial digunakan ketika tingkat kegagalan komponen atau sistem adalah konstan, atau disebut *constant failure rate model*. Pada distribusi ini laju kerusakan konstan terhadap waktu sehingga kegagalan tidak bergantung pada umur komponen atau sistem. Untuk menghitung keandalan pada saat t , digunakan fungsi keandalan sebagai berikut (Ebeling, 1997):

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (3)$$

Dimana $t > 0$ dan $\lambda > 0$

Dengan:

e = bilangan euler

λ = tingkat kegagalan per jam atau siklus

untuk menghitung tingkat kegagalan (λ) digunakan formula (Ebeling, 1997):

$$\lambda = \frac{1}{MTTF} \quad (4)$$

pada distribusi ini tingkat kegagalan per jam atau siklus ($\lambda(t)$) sama dengan λ .

b. Distribusi Weibull

Distribusi Weibull merupakan distribusi yang banyak digunakan terutama dalam analisis umur suatu objek karena bentuk distribusinya yang bermacam-macam sehingga memungkinkan berbagai bentuk data untuk sesuai dengan distribusi (Narang, 2012). Dalam distribusi Weibull terdapat 2 parameter, yaitu (1) β (beta) yang disebut *shape parameter* yaitu parameter yang menentukan bentuk dari distribusi data dan (2) θ (theta) yang disebut *scale parameter* yang memengaruhi sebaran data. Parameter beta menggambarkan laju kerusakan pada komponen atau sistem. Untuk menghitung keandalan dalam distribusi ini digunakan formula (Ebeling, 1997) :

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} \quad (5)$$

Dimana $t \geq 0$, $\theta > 0$ dan $\beta > 0$

Dengan:

β = parameter bentuk

θ = parameter skala

e = bilangan euler

perubahan nilai dari parameter bentuk (β) yang menggambarkan laku kerusakan dijelaskan dalam tabel bawah ini (Ebeling, 1997):

tabel 2 1 Nilai Parameter Bentuk (β) Distribusi Weibull

Nilai	Keterangan	Nilai	Keterangan
$0 < \beta < 1$	Laju kerusakan menurun (DFR)	$\beta > 2$	Laju kerusakan meningkat (IFR)
$B = 1$	Laju kerusakan konstan (CFR) Distribusi eksponensial		Kurva berbentuk konveks
$1 < \beta < 2$	Laju kerusakan meningkat (IFR)	$3 < \beta < 4$	Laju kerusakan meningkat (IFR)
	Kurva berbentuk konkaf		Distribusi normal
$\beta = 2$	Laju kerusakan linier (LFR)		
	Distribusi Rayleigh		

Sedangkan untuk menghitung tingkat kegagalan (*hazard rate*) digunakan formula sebagai berikut (Ebeling, 1997):

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} \quad (6)$$

$$MTTF = \theta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (7)$$

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} y^{x-1} e^{-y} dy \quad (8)$$

c. Distribusi Normal

Distribusi normal cocok digunakan untuk memodelkan fenomena keausan dan *fatigue*. Parameter yang digunakan dalam distribusi normal yaitu μ yaitu rata-rata dan σ^2 yaitu variansi. Distribusi normal juga dapat digunakan untuk menganalisis probabilitas lognormal karena terdapat hubungan dengan distribusi lognormal. Fungsi keandalan pada distribusi ini adalah (Ebeling, 1997):

$$R(t) = 1 - \phi \frac{t - \mu}{\sigma} \quad (9)$$

Dimana $\mu > 0$, $\sigma > 0$, dan $t > 0$

Dengan:

μ = rata-rata

σ = variansi

ϕ = fungsi densitas probabilitas

Dengan fungsi densitas probabilitas (Ebeling, 1997):

$$\phi = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{t - \mu}{\sigma} \right)^2 \right] \quad (10)$$

d. Distribusi Lognormal

Distribusi lognormal menggunakan 2 parameter yaitu s sebagai parameter bentuk dan t_{med} sebagai parameter lokasi, yang merupakan nilai tengah dari distribusinya. Distribusi ini dapat memiliki berbagai macam bentuk sehingga data yang sesuai dengan distribusi Weibull biasanya juga sesuai dengan distribusi lognormal. Fungsi keandalan distribusi lognormal adalah (Ebeling, 1997):

$$R(t) = 1 - \phi \left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}} \right) \quad (11)$$

Dimana $s > 0$, $t_{med} > 0$, dan $t > 0$

Dengan:

s = parameter bentuk

t_{med} = parameter lokasi

ϕ = fungsi densitas probabilitas

Dimana fungsi densitas probabilitas (Ebeling, 1997):

$$\phi = \frac{1}{\sqrt{2\pi}st} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\ln \frac{t}{t_{med}} \right)^2 \right] \quad (12)$$

$$MTTF = t_{med} \exp \left(\frac{s^2}{2} \right) \quad (13)$$

2.2.6 Keandalan dengan *Preventive Maintenance*

Salah satu cara yang dapat digunakan untuk meningkatkan keandalan adalah dengan melakukan *preventive maintenance*. Hasil dari penerapan *preventive maintenance* cukup signifikan karena dapat mengurangi aus atau kelelahan pada komponen sehingga meningkatkan keandalan pada sistem. Untuk menghitung keandalan mesin pada saat t digunakan formula sebagai berikut (Lewis, 1994):

$$R_m(t) = R(T)^n \cdot R(t - nT) \quad (14)$$

untuk $nT \leq t < (n+1)T$

Dimana $n = 1, 2, 3, \dots$ dst.

Dengan:

t = waktu

n = jumlah perawatan

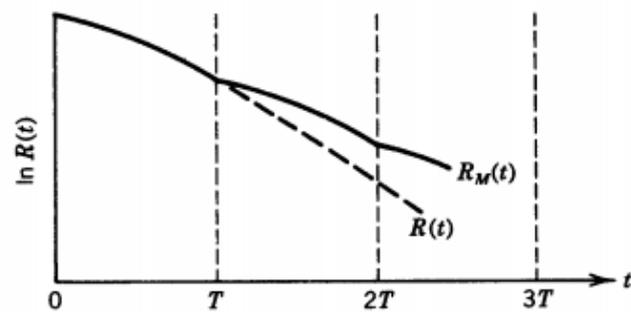
T = interval waktu pencegahan penggantian kerusakan

$R(t)$ = probabilitas keandalan sistem tanpa perlakuan *preventive maintenance*

$R(T)^n$ = probabilitas keandalan sistem sampai perawatan ke n

$R(t-T)$ = probabilitas keandalan sistem antara waktu $t-T$ setelah sistem dikembalikan ke kondisi awal pada saat T

$R_m(t)$ = probabilitas keandalan sistem dengan perlakuan *preventive maintenance*



Gambar 2.2 Pengaruh *Preventive Maintenance* terhadap *Reliability*
sumber: (Lewis, 1994)

Untuk laju kerusakan yang konstan: $R(t) = e^{-\lambda t}$ maka,

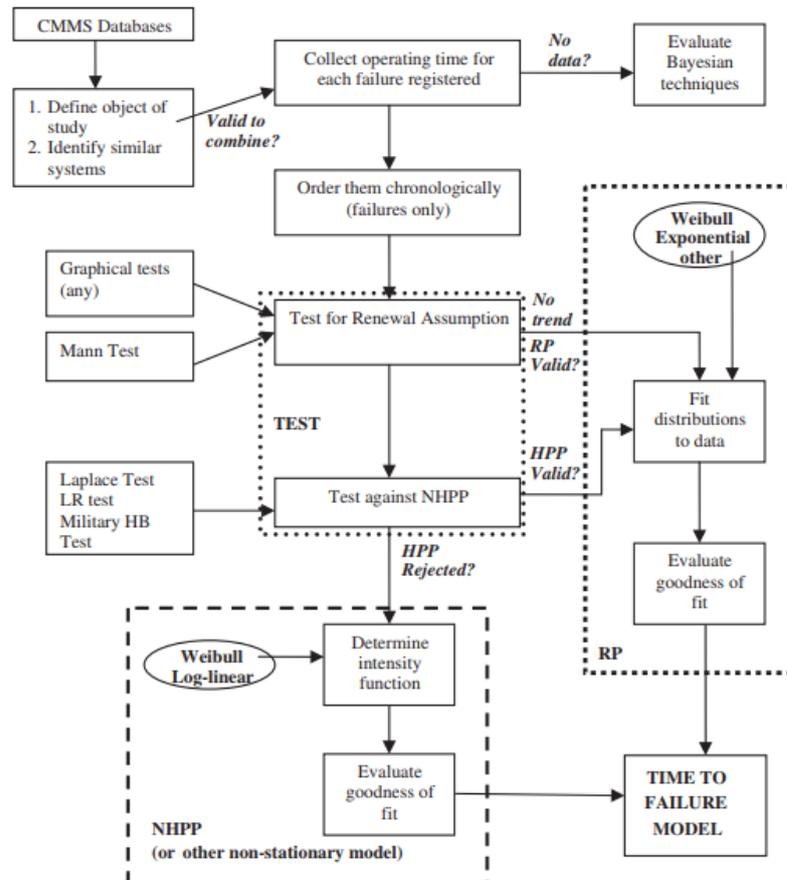
$$\begin{aligned} R_m(t) &= (e^{-\lambda t})^n e^{-\lambda(t-nT)} \\ &= (e^{-n\lambda t}) e^{-\lambda(t-nT)} = e^{-\lambda t} = R(t) \end{aligned}$$

Hasil dari penurunan formula di atas membuktikan bahwa kerusakan yang memiliki laju kerusakan konstan atau memiliki distribusi eksponensial tidak akan berpengaruh bila diberi perlakuan perawatan pencegahan, dengan demikian tidak ada peningkatan keandalan.

Untuk kerusakan yang memiliki laju konstan atau memiliki distribusi eksponensial, perlakuan *preventive maintenance* tidak memiliki pengaruh terhadap laju kerusakan, yang berarti tidak ada peningkatan keandalan. Namun apabila laju kerusakan tidak konstan dan perlakuan *preventive maintenance* tidak meningkatkan keandalan komponen, solusi yang lebih baik yaitu mengganti komponen tersebut (Lewis, 1994).

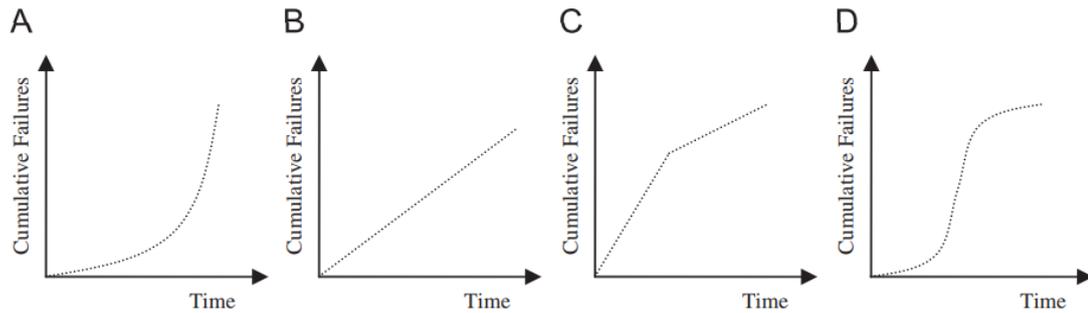
2.2.7 Analisis *Time Between Failure*

Berikut adalah langkah-langkah dalam menganalisis *time between failure* (Louit, et al., 2009)



Gambar 2.3 Kerangka Kerja Analisis TBF
sumber: (Louit, et al., 2009)

Teknik menganalisis tren data TBF adalah dengan *graphical test* yaitu dengan melakukan plot data kumulatif TBF sebagai sumbu X dengan kumulatif kegagalan sebagai sumbu Y akan terlihat pola data yang terbentuk seperti gambar 2.3. Grafik D menunjukkan ada tren dalam data, sementara grafik A,B, dan C dianggap tidak menunjukkan suatu tren data.



Gambar 2.4 *cumulative failures vs time-plots*
sumber: (Louit, et al., 2009)

Graphical test yang kedua yaitu dengan melakukan plot data TBF yaitu data TBF sebelumnya $(i-1)^{\text{th}}$ sebagai sumbu X dengan data TBF saat ini i^{th} sebagai sumbu Y. Apabila grafik yang terbentuk merupakan kumpulan satu kumpulan titik seperti gambar 2.4 maka data dianggap tidak memiliki tren sedangkan bila lebih dari satu kumpulan titik maka terdapat tren.



Gambar 2.5 *successive service life plot*
sumber: (Louit, et al., 2009)

Apabila terdapat tren dalam data maka akan dilakukan Power Law Process NHPP (Non Homogenous Poisson Process). Parameter yang dimaksud adalah sebagai berikut (Wreckman, et al., 2001):

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (15)$$

$$\eta = \frac{t_n}{n^{\frac{1}{\beta}}} \quad (16)$$

$$\beta = \frac{n}{\sum \ln \frac{t_n}{t_i}} \quad (17)$$

Dengan:

β = beta (parameter bentuk)

η = eta (parameter skala)

t_n = total running time

t_i = running time saat kegagalan muncul

i = 1,2,3....dst.