

ANALISIS PERAWATAN UNIT PEMBANGKITAN GRESIK UNIT III DENGAN METODE *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE*

Didik Wahyudi¹, M. Waziz Wildan¹, Teguh Pudji Purwanto¹ dan Setyanto Kresno Murti²

¹Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik – UGM
Jl. Grafika No.2, Yogyakarta 55281

²PT. Pembangkitan Jawa-Bali Unit Pembangkitan Gresik
Jl. Harun Tohir No.1, Gresik, Jawa Timur

Abstrak.

ANALISIS PERAWATAN UNIT PEMBANGKITAN GRESIK UNIT III DENGAN METODE *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE*. *Reliability Centered Maintenance (RCM) merupakan suatu konsep dasar perawatan terhadap peralatan yang didalamnya menggunakan Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) dan Logic Tree Analysis (LTA). Metode RCM adalah salah satu bentuk manajemen perawatan yang berbasis kehandalan sistem. Dari analisis kehandalan dihasilkan beberapa komponen kritis diantaranya; boiler, deaerator, condenser dan boiler feed pump. Dari penghitungan kehandalan berdasarkan data work order nilai laju kehandalan sistem adalah $5,81023 \times 10^{-5}$ kegagalan/jam dengan MTTF sebesar 1721 jam. Sedangkan jika berdasarkan down time nilai laju kehandalannya adalah $6,6138 \times 10^{-5}$ kegagalan/jam dengan MTTF sebesar 15120 jam. Hasil analisis RCM didapatkan aktifitas perawatan yang lebih proporsional berupa on-condition task, scheduled discard task dan redesign is compulsory.*

Kata kunci: RCM, FMEA, LTA, MTTF, kehandalan

Abstract.

ANALYSIS OF MAINTENANCE OF UNIT PEMBANGKITAN GRESIK UNIT III BY *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE METHOD*. *Reliability Centered Maintenance (RCM) is a maintenance basic concept of equipment that includes Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) and Logic Tree Analysis (LTA). RCM method is one form of reliability-based maintenance management system. Reliability analysis produced several critical components such as; boiler, deaerator, condenser and boiler feed pump. Calculations of reliability based on work order data, value of system reliability rate is 5.81023×10^{-5} failures/hour with MTTF of 1721 hours. Whereas, if based on down time data, value of system reliability rate is 6.6138×10^{-5} failures/hour with a MTTF of 15,120 hours. RCM analysis results obtained maintenance activity that is more proportional form of on-condition tasks, scheduled discard task and redesign is compulsory.*

Keywords: RCM, FMEA, LTA, MTTF, reliability

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Pemadaman listrik yang terjadi akhir-akhir ini mengharuskan kita untuk lebih memperhatikan obyek-obyek vital yang berkaitan dengan kelistrikan ini. Kehandalan (*reliability*) dari

pembangkit juga harus tinggi.

yang dibentuk berdasarkan Surat Keputusan Direksi PT. PLN (Persero No. 030.K/023/DIR/1980 tanggal 15 Mei 1980. Dengan total daya terpasang Unit Pembangkitan (UP) Gresik 2.255 MW dan mampu memproduksi energi listrik rata-rata 10.859 GWh per tahun.

Penelitian ini menitikberatkan pada RCM, yaitu

suatu proses yang digunakan untuk menentukan apa yang harus dikerjakan untuk menjamin setiap aset fisik tetap bekerja sesuai yang diinginkan atau suatu proses untuk menentukan perawatan yang efektif.

Penerapan metode RCM sudah lama dipakai di industri, khususnya industri penerbangan komersial yang sekarang berkembang di berbagai sektor industri.

Identifikasi dan Perumusan Masalah.

Penerapan metode RCM perlu dilakukan untuk merumuskan kebijakan *maintenance* yang efektif dan dapat mengurangi *probability of failure*. Masalah-masalah yang dapat dirumuskan dalam penelitian ini adalah :

- Analisis kehandalan sistem utama di UP Gresik Unit III.
- Bagaimana bila digunakan sistem perawatan dengan metode RCM di UP Gresik Unit III.

Batasan Masalah

Batasan masalah pengerjaan dan pembahasan tesis ini adalah :

- Penelitian ini dilaksanakan pada komponen utama dan vital di UP Gresik Unit III.
- Analisis RCM dilakukan hanya pada pada komponen utama dan vital di UP Gresik Unit III dengan menggunakan metode tujuh langkah proses RCM.
- Penyusunan FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) hanya sampai pada satu tingkat level dibawahnya.
- Data-data kegagalan dan kerusakan yang digunakan adalah data *work order* pada periode tanggal 15-03-2002 sampai dengan 16-10-2005.
- Pada penelitian ini tidak dilakukan perhitungan biaya hasil pemeliharaan di UP Gresik Unit III.

Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui penerapan metode RCM pada sistem utama di UP Gresik Unit III, yaitu dengan :

- Menghitung nilai kehandalan dan MTTF UP Gresik Unit III.
- Menentukan komponen-komponen kritis di UP Gresik Unit III.
- Mengidentifikasi *failure mode*, *failure cause*, dan *failure effect* dari kegagalan fungsi.
- Menjabarkan tindakan yang harus dilakukan, interval waktu serta penanggung jawab pada setiap kegagalan fungsi.

TEORI

Konsep Kehandalan (*Reliability*)

Menurut Priyanta (2000), kehandalan didefinisikan sebagai probabilitas dari suatu item untuk dapat melaksanakan fungsi yang telah ditetapkan pada kondisi pengoperasian dan lingkungan tertentu untuk periode waktu yang telah ditentukan. Konsep lain yang juga sering digunakan untuk menyatakan kehandalan suatu komponen adalah laju kegagalan (*failure rate*, λ) dan *Mean Time to Failure* (MTTF). Kehandalan merupakan probabilitas yang nilainya selalu diantara 0 dan 1 (Kiemele dkk, 1997). Kehandalan juga ditentukan oleh waktu sebagai variabel random yang mengikuti distribusi eksponensial dan distribusi normal, maka diperlukan suatu fungsi kehandalan yang dinotasikan sebagai $R(t)$ yang menyatakan probabilitas suatu sistem dapat berfungsi dengan baik selama $[0,t]$;

$$R(t) = \int_t^{\infty} f(t) dt \quad (1)$$

Menurut Priyanta (2000), laju kegagalan atau *failure rate*, λ adalah rasio dari total jumlah kegagalan dengan total waktu operasi. *Failure rate* menunjukkan seberapa sering suatu item mengalami kegagalan pada periode waktu tertentu. *Failure rate* dapat dinyatakan dengan persamaan matematis sebagai berikut :

$$\lambda = \frac{r}{T(t)} \quad (2)$$

dimana : $T(t)$ = total jam operasi
 r = jumlah *failure*
 λ = laju kegagalan

Menurut Priyanta (2000), secara umum MTTF (*Mean Time to Failure*) dari sistem dapat dihitung dengan mengintegalkan langsung fungsi kehandalan (*reliability*), yaitu :

$$MTTF = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda} \quad (3)$$

Untuk menghitung nilai kehandalan dapat digunakan formula sesuai dengan tipe distribusi dari data, antara lain :

- Distribusi Eksponensial

$$R = e^{-\lambda t} \quad (4)$$

λ = laju kegagalan

- Distribusi Normal

$$R = 1 - \Phi\left(\frac{t - \mu}{\sigma}\right) \quad (5)$$

σ = deviasi standar

μ = rata-rata / mean

3. Distribusi Weibull

$$R = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\beta}\right)^\alpha} \quad (6)$$

α = shape parameter

β = scale parameter

γ = threshold parameter

Program Easy-Fit

EasyFit memungkinkan untuk dengan mudah dan cepat memilih distribusi probabilitas yang paling sesuai dengan data, mengurangi waktu analisis Anda dengan 70-95% dari metode manual. EasyFit meliputi pengelolaan data, analisis, dan kemampuan pelaporan menjamin kualitas tinggi proyek Anda. Fitur utama dari EasyFit adalah kemampuan untuk secara otomatis sesuai dengan lebih dari 40 distribusi untuk data sampel dan memilih model terbaik (pengguna tingkat lanjut dapat menerapkan fitur pas manual).

The goodness of fit tests (Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling, Chi-Squared) dan berbagai grafik membantu anda membandingkan distribusi dipasang dan memastikan Anda telah memilih model yang paling valid. EasyFit untuk melakukan analisis data dan simulasi, membuat model worksheet maju, dan mengembangkan aplikasi VBA berurusan dengan ketidakpastian untuk kebutuhan khusus.

Program ini didukung Distribusi Bernoulli, Beta, Binomial, Chi-Squared, Erlang, eksponensial F, Gamma, Logaritma, Lognormal, Binomial, Normal, Weibull, dan lain-lain.

Reliability Centered Maintenance.

Definisi RCM

Menurut Moubray (1997), RCM adalah suatu proses yang digunakan untuk menentukan tindakan yang harus dilakukan supaya suatu asset dapat bekerja dengan terus menerus sesuai dengan fungsinya dalam konteks operasi pada saat dilakukan.

Menurut Chalifoux dan Baird (1999), RCM adalah pendekatan *maintenance* yang mengkombinasikan praktek dan strategi dari *Preventive Maintenance (PM)*, *Predictive Maintenance (PdM)* dan *Reactive Maintenance (RM)* untuk memaksimalkan umur (*life time*) dari suatu peralatan dan fungsi yang diperlukan.

Tujuan RCM

Tujuan dari RCM adalah sebagai berikut:

- Untuk menentukan *maintenance* program yang optimal dengan menurunkan resiko dan dampak akibat kegagalan.
- Pengoptimalan upaya *maintenance* dengan cara fokus pada tingkat kekritisan fungsi peralatan dalam sistem dan menghindari upaya-upaya *maintenance action* yang dirasa tidak perlu atau tidak efektif lagi.
- Meningkatkan *maintenance task* yang mengacu pada *failure* atau *repair histories*.

Tujuh pertanyaan dasar RCM

Penerapan RCM dilakukan dengan menjawab 7 pertanyaan dasar RCM mengenai aset atau sistem yang dianalisa, yaitu (Moubray, 1997) :

1. Apa fungsi dan standar prestasi yang terkait dengan aset sesuai dengan konteks operasinya saat ini? (*functions*)
2. Dengan jalan apa saja aset tersebut bisa gagal dalam memenuhi fungsinya? (*functional failure*)
3. Apa yang menyebabkan kegagalan fungsional? (*failure mode*)
4. Apa yang terjadi pada setiap kegagalan yang timbul? (*failure effects*)
5. Apa saja pengaruh dari kegagalan ini? (*failure consequence*)
6. Apa yang dapat dilakukan untuk mencegah setiap kegagalan? (*proactive task : preventive and default action task*)
7. Apa yang sebaiknya dilakukan bila tidak ditemukan tindakan pencegahan yang sesuai ? (*default action : failure finding, redesign*)

Dokumen pendukung analisis RCM

Dalam penyelesaian tujuh tahapan proses di atas maka diperlukan beberapa dukungan berupa dokumen-dokumen yang selama ini digunakan dalam merawat aset, diantaranya :

- (a). *Piping & Instrumentation Diagram (P & ID)*
- (b). *Schematic/block diagram*
- (c). *Vendor manual*
- (d). *Vendor drawing*
- (e). *Data sheet*
- (f). *Catalog*
- (g). *Equipment history*
- (h). *Operation manual*
- (i). *System design specification & description*

Deskripsi sistem dan diagram blok fungsional (*system description and functional block diagram*)

Deskripsi sistem dan diagram blok fungsional merupakan representasi dari fungsi-fungsi utama sistem yang berupa blok-blok fungsi dari setiap subsistem yang menyusun sistem tersebut untuk memudahkan *Functional Block Diagram* (FBD) ini, sehingga dibuat tahapan identifikasi detail sistem yang meliputi (Moubray, 1997) :

- (a). Deskripsi sistem
- (b). Untuk memudahkan dalam memahami FBD, maka dibuat *Asset Block Diagram* (ABD), terutama untuk memahami urutan proses suatu sistem
- (c). *In/Out interface*
- (d). *System Work Breakdown System* (SWBS)
- (e). *Equipment history*

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Failure Mode and Effect Analysis adalah proses mengidentifikasi kegagalan dari suatu komponen yang dapat menyebabkan kegagalan fungsional dari sistem tersebut.

Logic Tree Analysis (LTA)

Penyusunan *Logic Tree Analysis* merupakan proses kualitatif yang digunakan untuk mengetahui konsekuensi yang ditimbulkan oleh masing-masing *failure mode*. Tujuan LTA adalah mengklasifikasikan *failure mode* ke dalam beberapa kategori sehingga nantinya dapat ditentukan tingkat prioritas dalam penanganan masing-masing *failure mode* berdasarkan kategorinya.

METODE

Data *work order* yang diperoleh dari PLTU kemudian diolah dalam program Easy-Fit 5.3. untuk menentukan jenis distribusi (apakah eksponensial, normal, lognormal, weibull 2P atau weibull 3P) yang paling sesuai. Dan dari Data *Process Flow Diagram* (PFD) kita dapat mengetahui hubungan antarkomponen, apakah seri, paralel atau *standby*. Lalu dihitung nilai *reliability* berdasarkan pers. (2.4) sampai (2.6).

Data *Process Flow Diagram* (PFD) dan data daftar equipment PLTU Gresik dapat dikembangkan untuk membuat ABD dan FBD sebagai acuan pembuatan FMEA.

Dari data petunjuk pengoperasian sistem, data kegiatan *maintenance* dan interval waktu pelaksanaannya, wawancara secara langsung dengan pihak-pihak yang terkait, dan pencarian data

sekunder melalui internet serta pencarian data sekunder melalui data tugas akhir/tesis dari mahasiswa terdahulu maka disusun FMEA dan LTA.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Menghitung *reliability*

Perhitungan *reliability* adalah bagian yang tidak dapat dipisahkan dalam pembahasan RCM. Proses RCM dilakukan untuk mendapatkan tingkat *reliability* yang tinggi

Perhitungan seberapa besar tingkat kehandalan (*reliability*) sebuah asset dapat ditentukan melalui 2 cara, yaitu:

1. Mengetahui secara langsung dari pabrik pembuat (*vendor equipment*) tentang besarnya *reliability asset* pada saat desain. Hal ini dikenal dengan nama *inherent reliability*.
2. Mengetahui besarnya tingkat kehandalan aset dengan mengevaluasi data operasi dan data perawatan aset, untuk kemudian dihitung *reliability* operasionalnya dengan persamaan model matematis.

Cara pertama terkadang sulit untuk dilakukan karena terkadang *inherent reliability* sebuah aset

Tabel.1. Data *Overhaul* PLTU Unit 3

JENIS OH	MULAI	AKHIR	Durasi (jam)
SE	28-01-2002	18-03-2002	50
SI	01-03-2003	16-03-2003	16
ME	20-06-2004	20-07-2004	31
SE + Grant	16-10-2005	23-01-2006	100

biasanya dirahasiakan oleh pabrik pembuat, karena *inherent reliability* biasanya ditentukan dalam sebuah uji coba (*reliability testing*) terhadap sebuah produk sebelum produk tersebut dipasarkan. Konsumen hanya mendapat garansi bahwa produk / aset tersebut handal. Cara kedua biasanya sering dilakukan karena mudah dalam perhitungannya.

Data *overhaul* PLTU Unit 3 dapat dilihat pada Tabel.1. Dimana durasi waktu pengerjaan masing-masing *overhaul* biasanya adalah sebagai berikut:

1. *Simple Inspection* (SI) : 18 hari
 2. *Mean Inspection* (ME) : 30 hari
 3. *Serious Inspection* (SE) : 45 hari
- (SI +) : 30 hari
(SE + Grant) : 100 hari

Untuk menghitung nilai *reliability* dari PLTU, maka terlebih dahulu kita hitung *reliability* masing-masing komponen. Untuk komponen yang tidak pernah mengalami sekalipun kegagalan, maka kita asumsikan nilai *reliability*-nya adalah 1. Untuk menghitung nilai *reliability* didasarkan hubungan antarkomponen seperti ditunjukkan pada Gambar. 1.

Berdasarkan data *Work Order* yang dapat dilihat pada Tabel. 2. Berikut ini adalah tingkat kehandalan tiap komponen di UP Gresik Unit III:

a. *Boiler*

Distribusi eksponensial digunakan terhadap suatu komponen dengan jumlah kegagalan di bawah 5 kali. Berdasarkan Tabel. 2. *Boiler* mengalami 4 kali kegagalan, sehingga

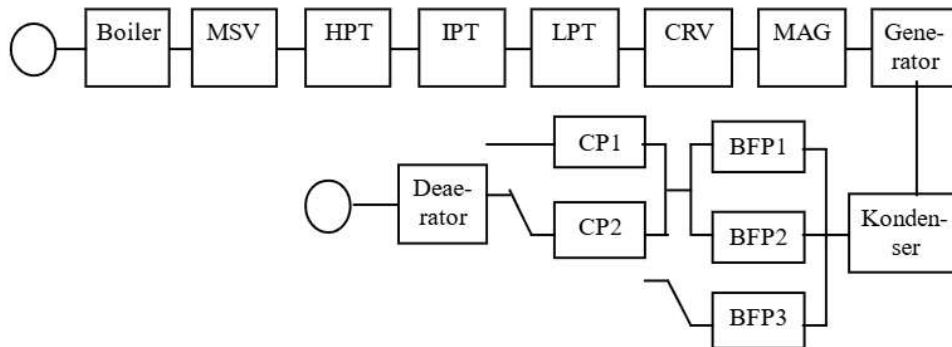
digunakan distribusi eksponensial.

Dalam rentang waktu 15 Maret 2002 – 16 Oktober 2005 (31.368 jam) terjadi *Simple Impection* selama 16 hari (384 jam) dan *Mean Impection* selama 31 hari (744 jam).

$$\lambda = \frac{\text{Banyaknya kegagalan yang terjadi}}{\text{Jumlah jam operasi}}$$

Laju kegagalan *Boiler* adalah :

$$\lambda = \frac{4}{31368 - 384 - 744} = \frac{4}{30240} \\ = 1,32275 \times 10^{-4} \text{ kegagalan/jam}$$



Gambar. 1. Hubungan antar-komponen

Tabel. 2. Data *work order* PLTU

No	Raised Date	Kode Komponen	Deskripsi Kegagalan	Durasi (Jam)
1	20020329	Boiler	Valve steam atomizing burner A7 #3 bocor	360
2	20030228	Boiler	Eco.Outlet gas draft #3 penunjukan error	8064
3	20030809	Boiler	Ring bearing sisi FAN GIF 3B lepas	3888
4	20031128	Boiler	Peep hole boiler # 3 pecah	2664
5	20030106	Dearator	Lampu mercury Deaerator #3 mati semua	7056
6	20050308	Dearator	Sight glass deaerator #3 bocor.	17880
7	20020410	BFP2	Bearing motor AOP 3B BFP vibrasi tinggi	552
8	20020425	BFP2	Flanges line flushing strainer BFP3B bcr	360
9	20020805	BFP2	Gland pack.vlv PI u/ BFP 3B bocor	2448
10	20021118	BFP2	Level oil AOP BFP 3B rendah / kurang	2520
11	20030329	BFP2	BFP 3B di start langsung trip	2760
12	20030518	BFP2	Flow transmitter BFP 3B bocor.	1200
13	20030711	BFP2	PI BFP Intermediate # 3B kaca pecah	1296
14	20030825	BFP2	Minimum flow BFP3B tdk bisa nutup	1080
15	20040126	BFP2	Minimum flow BFP 3B & 3C # 3	3696
16	20040806	BFP2	AOP BFP 3A tidak mau di stop	3888
17	20050314	BFP2	B- FDFM Brg metal muncul bad	5280

18	20050411	BFP2	Line seal water BFP 3B keropos	672
19	20050525	BFP2	SV u/min flow BFP 3B udara ngowos	1056
20	20050628	BFP2	First iso valve u/ PI disch.BFP 3B	816
21	20020516	Kondenser	Line disc.cond.#3 sump pit bag.PVC bcr	1416
22	20020805	Kondenser	Condenser Sump Pit pump #3 over load	1944
23	20021227	Kondenser	Condensor Sump Pit #3 rusak	3456
24	20021230	Kondenser	Minyakbearingballtaproge#3B kemasukanair	72
25	20030330	Kondenser	Condensor Sump Pit #3 rusak	1776
26	20030412	Kondenser	Sumpit pump turbin room #3 tidak bisa //	312
27	20030529	Kondenser	Sumpitpump cond (portable)tdk bisa mompa	1128
28	20031216	Kondenser	LV-50-12 (LC Hotwell) # 3 hunting	4824
29	20040915	Kondenser	Kaca flow glas sea wtr leak #3 pecah	5832
30	20050427	Kondenser	Outlet sea water box condenser 3B bocor	5376

- b. Deaerator
Deaerator mengalami 2 kali kegagalan, sehingga digunakan distribusi eksponensial.

$$\lambda = \frac{\text{Banyaknya kegagalan yang terjadi}}{\text{Jumlah jam operasi}}$$

Laju kegagalan deaerator adalah :

$$\lambda = \frac{2}{31368 - 384 - 744} = \frac{2}{30240}$$

$$= 6,61376 \times 10^{-5} \text{ kegagalan/jam}$$

- c. Boiler Feed Pump 3B (BFP2)
Dari Tabel 2, Boiler Feed Pump 3B mengalami 14 kali kegagalan. Setelah diolah dengan program Easy Fit 5.3 dan mengambil metode dari Kolmogorov Smirnov, maka dihasilkan:

Goodness of Fit - Summary

No	Distribution	Kolmogorov Smirnov	
		Statistic	Rank
1	Chi-Squared	0,57143	7
2	Chi-Squared (2P)	0,57143	6
3	Exponential	0,1726	4
4	Exponential (2P)	0,1545	2
5	Normal	0,24611	5
6	Weibull	0,16948	3
7	Weibull (3P)	0,1545	1

Fitting Results

Dari dua tabel di atas dan di bawah, maka data kegagalan Boiler Feed Pump 3B mengikuti distribusi weibull (3P) dengan nilai $\alpha =$

$$0,86091; \beta = 1535,7; \text{ dan } \gamma = 360.$$

#	Distribution	Parameters
1	Chi-Squared	$\nu = 1973$
2	Chi-Squared (2P)	$\nu = 1784 \quad \gamma = 186,54$
3	Exponential	$\lambda = 5,0681\text{E-}4$
4	Exponential (2P)	$\lambda = 6,1991\text{E-}4 \quad \gamma = 360$
5	Lognormal	$\sigma = 0,78088 \quad \mu = 7,3021$
6	Lognormal (3P)	$\sigma = 0,92397 \quad \mu = 7,1263 \quad \gamma = 167,57$
7	Normal	$\sigma = 1495,2 \quad \mu = 1973,1$
8	Weibull	$\alpha = 1,3489 \quad \beta = 1959,1$
9	Weibull (3P)	$\alpha = 0,86091 \quad \beta = 1535,7 \quad \gamma = 360$

- d. Kondenser

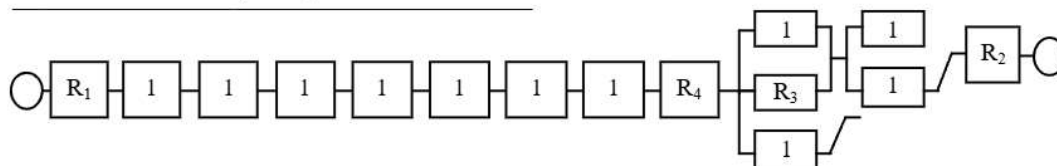
Goodness of Fit - Summary

No	Distribution	Kolmogorov Smirnov	
		Statistic	Rank
1	Chi-Squared	0,6	7
2	Chi-Squared (2P)	0,58592	6
3	Exponential	0,14583	1
4	Exponential (2P)	0,15052	2
5	Normal	0,22441	4
6	Weibull	0,22507	5
7	Weibull (3P)	0,2087	3

Dari Tabel 2, kondenser mengalami 10 kali kegagalan. Setelah diolah dengan program Easy Fit 5.3 dan mengambil metode dari Kolmogorov Smirnov, maka dapat diketahui bahwa data kegagalan kondenser mengikuti distribusi eksponensial dengan nilai $\lambda = 3,8261 \times 10^{-4}$ kegagalan/jam yang didasarkan pada dua tabel di atas dan dibawah

Fitting Results

#	Distribution	Parameters
1	Chi-Squared	$\nu = 2613$
2	Chi-Squared (2P)	$\nu = 1646 \quad \gamma = 1,5238$
3	Exponential	$\lambda = 3,8261E-4$
4	Exponential (2P)	$\lambda = 3,9345E-4 \quad \gamma = 72,0$
5	Lognormal	$\sigma = 1,3191 \quad \mu = 7,3248$
6	Lognormal (3P)	$\sigma = 0,64037 \quad \mu = 7,9745$ $\gamma = -892,32$
7	Normal	$\sigma = 2111,7 \quad \mu = 2613,6$
8	Weibull	$\alpha = 0,68916 \quad \beta = 2661,0$
9	Weibull (3P)	$\alpha = 0,7886 \quad \beta = 2388,2$ $\gamma = 72,0$



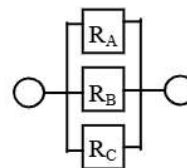
Gambar 2. Bagan kehandalan sistem

Jika diasumsikan komponen 1 dan komponen 2 saling bebas (*independent*), maka persamaan di atas dapat disederhanakan menjadi:

$$Q = Q(1) * Q(2) \quad (4.2)$$

Persamaan 4.2 memberikan kesan seolah-olah sama dengan persamaan ketakhandalan sistem yang memiliki dua komponen dengan susunan paralel.

Untuk menghitung nilai kehandalan total dari 3 komponen dengan susunan paralel dimana 2 dari 3 komponen nilai kehandalannya adalah 1, maka dapat diilustrasikan dengan Gambar. 3 di bawah ini:



Gambar. 3. Tiga komponen tersusun paralel

$$R_{total} = R_A + R_B + R_C - R_A R_B - R_A R_C - R_B R_C + R_A R_B R_C$$

Misal; Jika $R_A = R_C = 1$ dan $R_B = R$, Maka

$$R_{total} = 1 + R + 1 - R - 1 - R + R = 1$$

Sehingga nilai kehandalan total dari *Boiler Feed Pump* (BFP) adalah 1.

Ada tiga komponen yang mengalami kegagalan terhubung secara seri dalam sistem. Sehingga

Berdasarkan Gambar. 1, pada sistem PLTU terdapat 15 buah komponen, tetapi yang mengalami kegagalan hanya 4 komponen saja. Komponen yang lain tidak pernah mengalami kegagalan sehingga nilai kehandalannya dapat diasumsikan 1. Sehingga Bagan hubungan antarkomponen PLTU pada Gambar. 1 dapat disederhanakan menjadi Bagan kehandalan sistem seperti pada Gambar. 2.

R_3 terhubung *standby*. Jika semua *switch* pada peralatan PLTU diasumsikan tidak pernah gagal pada saat pengoperasian dan juga tidak akan pernah mengalami kegagalan pada saat melakukan pengalihan dari pengoperasian normal ke pengoperasian *standby*.

Jika diasumsikan komponen yang terhubung *standby* tidak mengalami kegagalan pada saat sedang dalam kondisi *standby*, maka sistem hanya akan mengalami kegagalan bila komponen utama telah gagal sebelumnya dan setelah pengoperasiannya dialihkan ke komponen yang difungska *standby* juga mengalami kegagalan. Karena itu probabilitas kegagalan sistem dapat dinyatakan ke dalam persamaan berikut ini:

$$Q = Q(1) * Q(2|1) \quad (4.1)$$

Reliabilitas total (R_{tot}) untuk jaringan terhubung seri dengan n komponen *independent* dirumuskan dengan:

$$R_{tot} = R_1 \times R_2 \times R_4 \quad (4.3)$$

Dimana

R_{tot} = Keandalan total sistem
 R_1 = Keandalan *Boiler*
 R_2 = Keandalan *Deaerator*
 R_4 = Keandalan Kondenser

Distribusi kegagalan dari ketiga komponen tersebut mengikuti distribusi eksponensial dengan laju kegagalan konstan.

$$\lambda_{tot} = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 \quad (4.4)$$

Dimana

λ_{tot} = laju kegagalan total
 λ_1 = Laju kegagalan *boiler* = 0,000132275
 λ_2 = Laju kegagalan *deaerator* = 0,000066138
 λ_4 = Laju kegagalan kondenser = 0,000382610

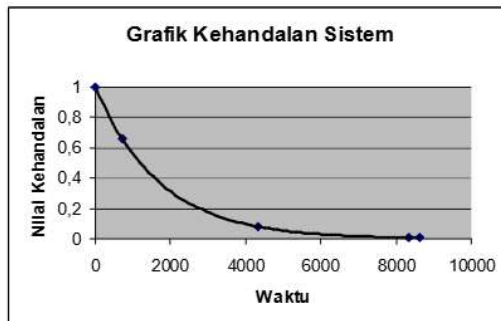
Sehingga $\lambda_{tot} = 0,000581023$ kegagalan/jam

Untuk mencari nilai keandalan sistem dapat digunakan rumus:

$$R_{tot} = e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_4)t} = e^{-(\lambda_{tot})t} = e^{-(0,000581023)t}$$

Tabel. 4. Reliabilitas sistem

Waktu (jam)	Reliability (%)
0	1,00
720 (1 bulan)	65,81
4320 (6 bulan)	8,13
8352 (SI)	0,78
8640 (1 tahun)	0,66



Gambar. 4. Grafik kehandalan sistem berdasarkan *work order*

Tabel 5. Data *down time*

Unit	Tanggal	Jam	Status Kinerja
Grk U#3	12/06/2003	21:55	Forced Outage
Grk U#3	10/01/2004	06:01	Forced Outage

PLTU *Unit 3* dalam kurun waktu 15 Maret 2002 – 16 Oktober 2005 (31.368 jam) hanya mengalami 2 kali kegagalan, sehingga digunakan distribusi eksponensial. Maka Laju kegagalan PLTU *Unit 3* adalah :

$$\lambda = \frac{2}{31368 - 384 - 744} = \frac{2}{30240} = 6,6138 \times 10^{-5} \text{ kegagalan/jam}$$

Sehingga nilai *reliability*-nya:

$$R = e^{-\lambda t} = e^{-0,000066138 t}$$

Berdasarkan pers. (2.3) maka nilai MTTF :

$$MTTF = \frac{1}{6,6138 \times 10^{-5}} = 15120 \text{ jam}$$

Tabel 5.12. Reliabilitas berdasarkan *down time*

Waktu (jam)	Reliability (%)
0	1
720 (1 bulan)	0,953497
4320 (6 bulan)	0,751476
8352 (SI)	0,575576
8640 (1 tahun)	0,564716
17280 (2 tahun)	0,318904
25920 (3 tahun)	0,18009
30240 (akhir)	0,135334



Gambar. 5. Grafik kehandalan sistem berdasarkan *down time*

System Boundary Definition (SBD), Asset Block Diagram (ABD) dan Functional block Diagram (ABD)

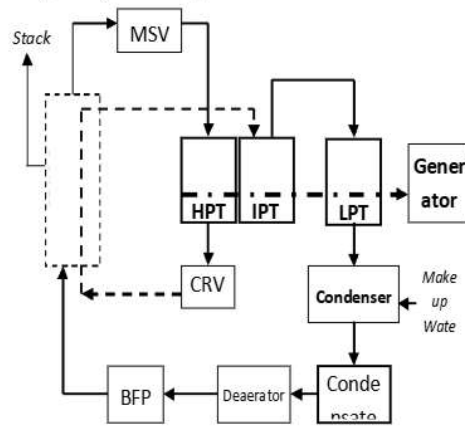
System Boundary Definition (SBD) adalah untuk menentukan batasan-batasan dalam melakukan analisis RCM dan untuk memperjelas ruang lingkup analisis.

Asset Block Diagram (ABD) dibuat untuk memperjelas hubungan antara aset yang satu dengan aset yang lain dan juga garis besar sistem kontrolnya. Dalam *paper* ini ABD dapat dilihat pada Gambar. 6.

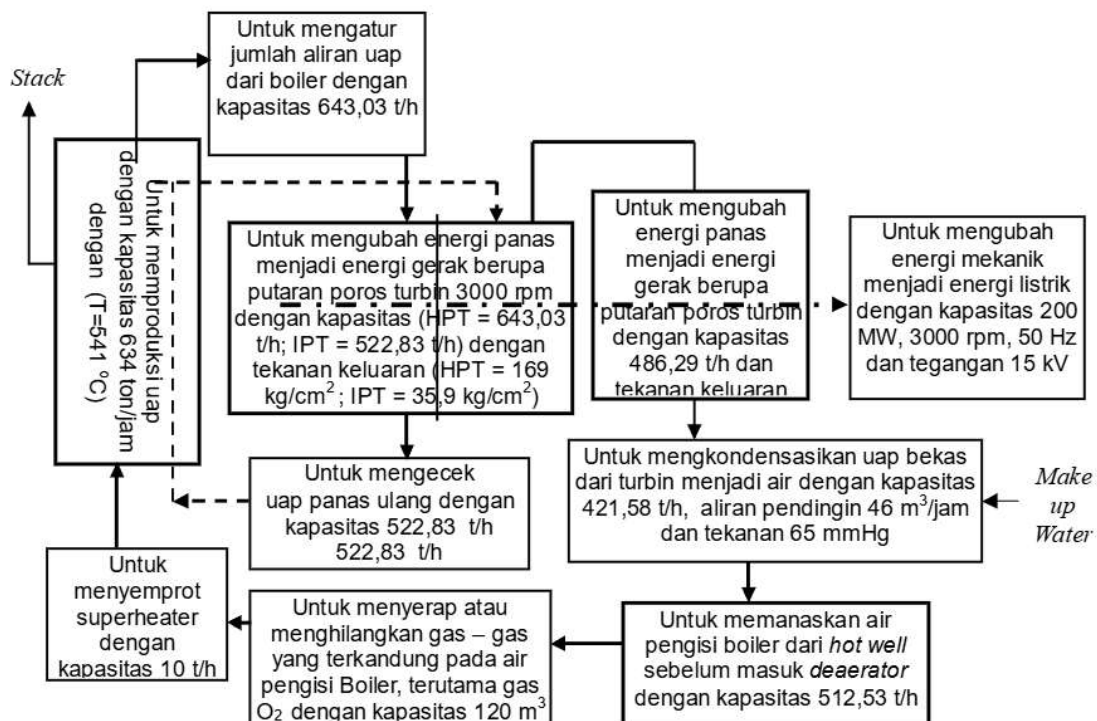
Functional Block Diagram (FBD) berfungsi

untuk menunjukkan hubungan dari masing-masing fungsi aset untuk mempermudah fungsi saat melakukan analisis dengan menggunakan RCM dan untuk menghindari terjadinya perbedaan persepsi antar anggota tim.

Selain menunjukkan fungsi aset dan bagian-bagian di dalamnya, FBD juga menjelaskan hubungan dan aliran kerja antar fungsi yang membentuk suatu sistem dan batasan yang dimiliki sistem tersebut. Dalam *paper* ini FBD dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar. 6. Asset Block Diagram (ABD) System



Gambar. 7. Functional Block Diagram(FBD) System

Failure Modes and Effects Analysis (FMEA)

Failure Modes and Effects Analysis yang ditunjukkan melalui RCM2 *failure mode list* dan *information worksheet* sudah ditentukan dalam paper ini.

RCM Decision Worksheet

Untuk memudahkan pengisian RCM *decision worksheet*, khususnya dalam menentukan *maintenance task* beserta intervalnya digunakan *Logic Tree Analysis* (LTA) sebagai *guideline*.

KESIMPULAN

Dari hasil analisis dengan menggunakan RCM untuk mendapatkan *maintenance task* yang tepat dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan data *work order* nilai kehandalan pembangkit adalah :

Waktu (jam)	Reliability (%)
0	1,00
720 (1 bulan)	65,81
4320 (6 bulan)	8,13
8352 (SI)	0,78
8640 (1 tahun)	0,66

2. Berdasarkan data *down time* nilai MTTF pembangkit adalah 15120 jam dengan kehandalan :

Waktu (jam)	Reliability (%)
0	1
720 (1 bulan)	0,953
4320 (6 bulan)	0,751
8352 (SI)	0,575
8640 (1 tahun)	0,564
17280 (2 tahun)	0,318
25920 (3 tahun)	0,180
30240 (akhir)	0,135

3. Dari hasil analisis terhadap data *work order* PLTU dalam periode analisis, didapatkan beberapa komponen yang paling kritis, yaitu ; *Boiler*, *Condenser*, *Deaerator* dan *Boiler Feed Pump 3B*

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulisan penelitian ini tidak lepas dari bantuan beberapa pihak. Untuk itu kami mengucapkan terima kasih kepada :

1. Pimpinan PT. PJB UP Gresik yang telah memberikan tempat dan fasilitas penelitian serta beberapa data untuk kesempurnaan penelitian.
2. Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir yang telah memberikan bantuan dana untuk kelancaran penelitian.
3. *Owner Neutron Computer* yang telah menyediakan fasilitas untuk pengolahan data penelitian.
4. Fera Wahyuningsih, ST yang telah banyak memberikan saran dan masukan demi kesempurnaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

1. ANONYMOUS, **Profil Unit Pembangkitan Gresik**, PT. PJB. Gresik.
2. PRIYANTA, DWI, **Kehandalan dan Perawatan**, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya (2000).
3. KIEMELE, M.J. SCHMIDT, S.R. dan BERDINE, R.J, **Basic Statistics Tools for Continous Improvement**, 4th ed., Air Academy Press Lic, Colorado (1997).
4. MATHWAVE TECHNOLOGIES, (2007, November 22), EasyFit [Online].
Available: <http://www.sharewareconnection.com/Easyfit.htm>
5. MOUBRAY, J, **Reliability Centered Maintenance II**, 2nd ed., Industrial Press Inc., New York (1997).
6. CHALIFOUX, A. dan BAIRD, J., **Reliability Centered Maintenance (RCM) Guide**, USACERL (1999).
7. PRASETYO, S.H, Tesis Sarjana, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta (2010).

Tanya-Jawab

Pertanyaan:

Berapa batasan nilai/parameter suatu komponen dianggap kritis. (rahmat edi)

Jawaban:

Ini inisiatif peneliti, karena overhaul PLTU tiap 8000 jam, maka komponen kritisnya yaitu komponen yang nilai MTTF-nya dibawah 8000 jam.