



**TUGAS AKHIR - TF 181801**

**OPTIMISASI *MAINTENANCE COST* PADA RCM  
MENGUNAKAN ALGORITMA STOKASTIK DI  
*BOILER FEED PUMP TURBINE* UNIT 1 PLTU  
JAWA TIMUR**

**R JONGGA RISKY HARDIYATNA MAS**  
NRP. 0231154000094

Dosen Pembimbing :  
Lizda Johar Mawarani, S.T., M.T.  
Dr. Ir. Ronny Dwi Noriyati, Mkes.

DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2019

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



*FINAL PROJECT - TF 181801*

***OPTIMIZATION OF MAINTENANCE COST IN  
RCM USING STOKASTIC ALGORITHM IN  
BOILER FEED PUMP TURBINE UNIT 1 PLTU  
JAWA TIMUR***

*R JONGGA RISKY HARDIYATNA MAS  
NRP. 0231154000094*

*Supervisor :*  
*Lizda Johar Mawarani, S.T., M.T.*  
*Dr. Ir. Ronny Dwi Noriyati, Mkes.*

*DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS  
Faculty of Industrial Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2019*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : R Jongga Risky Hardiyatna Mas  
NRP : 0231154000094  
Departemen / Prodi : Teknik Fisika/ S1 Teknik Fisika  
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri  
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir dengan judul “Optimisasi *Maintenance Cost* pada RCM menggunakan Algoritma Stokastik di *Boiler Feed Pump Turbine* Unit 1 PLTU Jawa Timur” adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada tugas akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 28 Juli 2019  
Yang membuat pernyataan,



R Jongga Risky Hardiyatna Mas

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**LEMBAR PENGESAHAN  
TUGAS AKHIR**

**OPTIMISASI *MAINTENANCE COST* PADA RCM  
MENGUNAKAN ALGORITMA STOKASTIK DI *BOILER  
FEED PUMP TURBINE* UNIT 1 PLTU JAWA TIMUR**

Oleh:

**R Jongga Risky Hardivatna Mas**  
NRP 0231154000094

Surabaya, 28 Juli 2019

Menyetujui,  
Dosen Pembimbing 1



**Lizda Johar Mawarani, S.T., M.T.**  
NIPN. 19740815 199703 2 001

Menyetujui,  
Dosen Pembimbing 2



**Dr. Ir. Ronny Dwi Norivati, Mkes.**  
NIPN. 19571126 198403 2 002

Mengetahui,  
Kepala Departemen  
Teknik Fisika FTI-ITS



*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## LEMBAR PENGESAHAN

### OPTIMISASI *MAINTENANCE COST* PADA RCM MENGUNAKAN ALGORITMA STOKASTIK DI *BOILER FEED PUMP TURBINE* UNIT 1 PLTU JAWA TIMUR


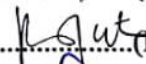

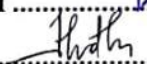

#### TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**R Jongga Risky Hardiyatna Mas**  
**NRP. 0231154000094**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Lizda Johar Mawarani, S.T., M.T. ....  (Pembimbing 1)
2. Dr. Ir. Ronny Dwi Noriyati, Mkes ....  (Pembimbing 2)
3. Hendra Cordova S.T., M.T. ....  (Penguji 1)
4. Ir. Matradji, M.Sc. ....  (Penguji 2)
5. Iwan Cony Setiadi, S.T., M.T. ....  (Penguji 3)

**SURABAYA**  
**JULI, 2019**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**Optimisasi *Maintenance Cost* pada RCM menggunakan  
Algoritma Stokastik di *Boiler Feed Pump Turbine* Unit 1  
PLTU Jawa Timur**

**Nama** : R Jongga Risky Hardiyatna Mas  
**NRP** : 0231154000094  
**Departemen** : Teknik Fisika FTI-ITS  
**Dosen Pembimbing 1** : Lizda Johar Mawarani, S.T., M.T.  
**Dosen Pembimbing 2** : Dr. Ir. Ronny Dwi Noriyati, Mkes.

**ABSTRAK**

Untuk mengoptimalkan profit suatu industri, dapat dilakukan dengan cara meminimalisir *maintenance cost* menggunakan metode *maintenance* dan pemilihan komponen atau teknologi berdasarkan *failure rate* ( $\lambda$ ) dan *time interval* yang terbaik. Dalam penelitian ini dilakukan optimisasi *maintenance cost* pada metode *reliability centered maintenance* (RCM) menggunakan algoritma stokastik di *boiler feed pump turbine* (BFPT) unit 1 pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) Jawa Timur. Analisa *reliability, availability, maintainability* (RAM) merupakan salah satu metode yang banyak digunakan dan didapatkan hasil *reliability* sistem *boiler feedwater* saat  $t = 800$  jam di PLTU Jatim mempunyai nilai 0,526. Untuk *equipment booster pump* memiliki *availability* sebesar 99% pada  $t = 10000$  jam dan *maintainability* sebesar 99% pada  $t = 1400$  jam. Untuk *equipment motor booster pump* memiliki *availability* sebesar 99,8% pada  $t = 14000$  jam dan *maintainability* sebesar 99% pada  $t = 700$  jam. Untuk *equipment main pump* memiliki *availability* sebesar 99% pada  $t = 20000$  jam dan *maintainability* sebesar 99% pada  $t = 200$  jam. Untuk *equipment BFPT* memiliki *availability* sebesar 97,5% pada  $t = 20000$  jam dan *maintainability* sebesar 99% pada  $t = 4800$  jam. Untuk *equipment cooler* memiliki *availability* sebesar 99,6% pada  $t = 20000$  jam dan *maintainability* sebesar 99% pada  $t = 11$  jam. Selain itu optimasi keandalan juga menjadi salah satu opsi rekomendasi yang tepat dalam peningkatan keandalan. Mengidentifikasi sistem menggunakan *piping and instrumentation diagram* (P&ID) dan mengumpulkan data *maintenance* selama

lima tahun kemudian menganalisa secara kuantitatif dan kualitatif untuk mendapatkan perhitungan *maintenance cost*. Dengan melakukan optimasi menggunakan algoritma *genetic algorithm* (GA), berhasil menghemat biaya *maintenance* sebesar \$116959,83 dalam perhitungan selama lima tahun.

**Kata kunci :** *reliability, maintenance cost, optimisasi, genetic algorithm*

**OPTIMIZATION OF MAINTENANCE COST IN RCM  
USING STOKASTIC ALGORITHM IN BOILER FEED PUMP  
TURBINE UNIT 1 PLTU JAWA TIMUR**

**Name** : R Jongga Risky Hardiyatna Mas  
**NRP** : 0231154000094  
**Department** : Engineering Physics FTI-ITS  
**Supervysor 1** : Lizda Johar Mawarani, S.T., M.T.  
**Supervysor 2** : Dr. Ir. Ronny Dwi Noriyati, Mkes.

**ABSTRACT**

*To optimize the profit of an industry, it can be done by minimizing maintenance costs using the maintenance method and selecting components or technology based on the failure rate ( $\lambda$ ) and the best time interval. In this research, maintenance cost optimization is performed on the reliability centered maintenance (RCM) method using a stochastic algorithm in the boiler feed pump turbine (BFPT) unit 1 East Java steam power plant (PLTU). Analysis of reliability, availability, maintainability (RAM) is one method that is widely used and obtained results of Reliability Boiler feedwater system when  $t = 800$  hours in the East Java PLTU has a value of 0.526. Booster pump equipment has availability of 99% at  $t = 10000$  hours and maintainability of 99% at  $t = 1400$  hours. For motor booster pump equipment has availability of 99.8% at  $t = 14000$  hours and maintainability of 99% at  $t = 700$  hours. For main pump equipment has availability of 99% at  $t = 20000$  hours and maintainability of 99% at  $t = 200$  hours. BFPT equipment has availability of 97.5% at  $t = 20000$  hours and maintainability of 99% at  $t = 4800$  hours. Cooler equipment has availability of 99.6% at  $t = 20000$  hours and maintainability of 99% at  $t = 11$  hours. In addition, reliability optimization is also one of the right recommendations for improving reliability. Identify systems using piping and instrumentation diagrams (P & ID) and collect maintenance data for five years then analyze quantitatively and qualitatively to obtain maintenance cost calculations. By*

*optimizing using the genetic algorithm (GA) algorithm, it managed to save maintenance costs of \$ 116,959.83 in calculations over five years.*

**Keywords** : *reliability, maintenance cost, optimization, genetic algorithm*

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobbilalamin. Puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, serta shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul **Optimisasi *Maintenance Cost* pada RCM menggunakan Algoritma Stokastik di *Boiler Feed Pump Turbine* Unit 1 PLTU Jawa Timur.**

Pada kesempatan kali ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Ucapan terimakasih ini, khususnya diberikan kepada :

1. Bapak Agus Muhamad Hatta, S.T, M.Si, Ph.D selaku Ketua Departemen Teknik Fisika yang telah memberikan ilmu, bimbingan, serta fasilitas selama menempuh pendidikan di Teknik Fisika.
2. Ibu Lizda Johar Mawarani, S.T., M.T. dan Dr. Ir. Ronny Dwi Noriyati, Mkes. selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan ilmu, petunjuk, serta nasihat
3. Bapak Hendra Cordova S.T., M.T., Ir. Matradji, M.Sc, Iwan Cony Setiadi, S.T., M.T. selaku dosen penguji yang telah memberi masukan serta nasihat.
4. Bapak Totok Ruki Biyanto, Ph.D. selaku Kepala Laboratorium Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol yang telah memberikan ilmu, petunjuk, nasihat, serta inspirasi yang dapat menjadi bekal dalam perjalanan hidup kedepannya.
5. Bapak Dr.Ir. Purwadi Agus Darwito, M.Sc. selaku dosen wali penulis yang telah membimbing dengan sabar dan perhatian selama perkuliahan.
6. Seluruh dosen, karyawan dan civitas akademik Teknik Fisika FTI-ITS, terimakasih atas segala bantuan dan kerjasamanya.
7. Kedua orang tua serta keluarga atas segala kasih sayang dan doa serta dukungan moril dan materiil yang telah diberikan.

8. Seluruh teman-teman satu angkatan, F50-Trancendent Frontier dan juga Kabinet HMTF BERAKSI yang telah menemani dan memberikan kesan dan kenangan selama menempuh pendidikan di Teknik Fisika.
9. Teman-teman seperjuangan bimbingan tugas akhir yang telah banyak membantu dan memberikan semangat.
10. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, terimakasih atas bantuannya.

Penulis sadar bahwa penulisan laporan tugas akhir ini tidaklah sempurna, oleh karena itu penulis ingin mengucapkan permintaan maaf atas kekeliruan apabila ditemukan dikemudian hari. Namun semoga laporan ini dapat memberikan kontribusi yang berarti dan menambah wawasan yang bermanfaat bagi pembaca, keluarga besar Teknik Fisika khususnya, dan civitas akademik ITS pada umumnya. Selain itu juga semoga dapat bermanfaat sebagai referensi pengerjaan laporan tugas akhir bagi mahasiswa yang lain.

Surabaya, 28 Juli 2019

Penulis



## DAFTAR ISI

<b>ALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>iii</b>
<b>PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME</b> .....	<b>v</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>vii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>ix</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>xi</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xiii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>xv</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xix</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xxi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan .....	3
1.4 Lingkup Kerja .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1 <i>Reliability</i> .....	5
2.2 <i>Availability</i> .....	6
2.3 <i>Maintainability</i> .....	7
2.4 <i>Failure Rate</i> .....	8
2.5 <i>Reliability Centered Maintenance</i> .....	9
2.6 <i>System Function and Functional Failure</i> .....	11
2.7 <i>Failure Mode &amp; Effect Analysis (FMEA)</i> .....	12
2.8 <i>Proactive Task and Initial Interval</i> .....	14
2.9 <i>Failure Consequence</i> .....	17
2.10 <i>Proactive Tasks and Default Action</i> .....	17
2.11 <i>Maintenance Cost</i> .....	18
2.12 <i>Pemodelan Sistem</i> .....	19
2.13 <i>Algoritma Stokastik</i> .....	20
2.14 <i>Genetic Algorithm</i> .....	21
<b>BAB III METODOLOGI</b> .....	<b>29</b>
3.1 <i>Studi Literatur</i> .....	30

3.2	Identifikasi dan Pengumpulan Data Sistem <i>Boiler Feed Pump Turbine</i> .....	30
3.3	Analisis Kuantitatif dan Kualitatif .....	30
3.4	Perhitungan <i>Maintenance Cost</i> .....	31
3.5	Optimisasi <i>Genetic Algorithm</i> .....	33
<b>BAB IV</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>35</b>
4.1	Analisis Kuantitatif .....	35
4.1.1	Analisa kuantitatif pada Booster Pump A .....	35
4.1.2	Analisa kuantitatif pada Motor <i>Booster Pump A</i> .....	37
4.1.3	Analisa kuantitatif pada <i>Main Pump A</i> .....	40
4.1.4	Analisa kuantitatif pada BFPT A .....	42
4.1.5	Analisa kuantitatif pada <i>Cooler</i> .....	45
4.1.6	Analisa kuantitatif pada Sistem <i>Boiler Feed Pump Turbine</i> .....	47
4.2	Analisis Kualitatif .....	48
4.3	Perhitungan Biaya Operasional.....	53
4.4	Analisis Hasil Optimisasi .....	55
<b>BAB V</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>59</b>
5.1	Kesimpulan .....	59
5.2	Saran .....	59
	<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>61</b>
	<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>63</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Hubungan antara jumlah kegagalan mesin dan waktu pengoperasian [3] .....	9
<b>Gambar 2.2</b>	Hasil respon dengan <i>increasing failure rate</i> [10].	16
<b>Gambar 2.3</b>	Hasil respon dengan <i>decreasing Failure Rate</i> . [2].	16
<b>Gambar 2.4</b>	Konfigurasi seri [10] .....	19
<b>Gambar 2.5</b>	Konfigurasi paralel [10] .....	20
<b>Gambar 2.6</b>	Diagram alir GA.....	22
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram alir metodologi .....	29
<b>Gambar 4.1</b>	<i>Reliability booster pump A</i> .....	35
<b>Gambar 4.2</b>	Penerapan PM pada <i>equipment booster pump A</i> ..	36
<b>Gambar 4.3</b>	<i>Availability booster pump A</i> .....	36
<b>Gambar 4.4</b>	<i>Maintainability Booster Pump A</i> .....	37
<b>Gambar 4.5</b>	<i>Reliability Motor Booster Pump A</i> .....	38
<b>Gambar 4.6</b>	Penerapan PM pada <i>Motor Booster Pump A</i> .....	38
<b>Gambar 4.7</b>	<i>Availability Motor Booster Pump A</i> .....	39
<b>Gambar 4.8</b>	<i>Maintainability Motor Booster Pump A</i> .....	39
<b>Gambar 4.9</b>	<i>Reliability Main Pump A</i> .....	40
<b>Gambar 4.10</b>	Penerapan PM pada <i>equipment Main Pump A</i> ....	41
<b>Gambar 4.11</b>	<i>Availability Main Pump A</i> .....	41
<b>Gambar 4.12</b>	<i>Maintainability Main Pump A</i> .....	42
<b>Gambar 4.13</b>	<i>Reliability BFPT A</i> .....	43
<b>Gambar 4.14</b>	Penerapan PM pada <i>equipment BFPT A</i> .....	43
<b>Gambar 4.15</b>	<i>Availability BFPT A</i> .....	44
<b>Gambar 4.16</b>	<i>Maintainability BFPT A</i> .....	44
<b>Gambar 4.17</b>	<i>Reliability Cooler A</i> .....	45
<b>Gambar 4.18</b>	Penerapan PM pada <i>equipment cooler A</i> .....	46
<b>Gambar 4.19</b>	<i>Availability Cooler A</i> .....	46
<b>Gambar 4.20</b>	<i>Maintainability Cooler A</i> .....	47
<b>Gambar 4.21</b>	Grafik Optimisasi <i>Maintenance Cost</i> .....	57

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	Deskripsi <i>System Function and Functional Failure</i> [2].....	12
<b>Tabel 2.2</b>	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i> .....	13
<b>Tabel 4.1</b>	<i>Function and Functional Failure Booster Pump</i> ....	49
<b>Tabel 4.2</b>	Beberapa hasil FMEA sistem <i>Boiler Feed Pump Turbine</i> .....	46
<b>Tabel 4.3</b>	Beberapa hasil FMEA sistem <i>Boiler Feed Pump Turbine</i> (Lanjutan).....	47
<b>Tabel 4.4</b>	Penentuan <i>Maintenance Strategy</i> Sistem <i>Boiler Feed Pump Turbine</i> .....	48
<b>Tabel 4.5</b>	Biaya <i>Preventive Maintenance</i> (CPM).....	53
<b>Tabel 4.6</b>	Biaya <i>Corrective Maintenance</i> .....	54
<b>Tabel 4.7</b>	Biaya <i>Test Maintenance</i> .....	54
<b>Tabel 4.8</b>	Biaya <i>Maintenance</i> .....	55
<b>Tabel 4.9</b>	Hasil Optimisasi Ti dan <i>Failure Rate</i> .....	56
<b>Tabel 4.10</b>	Perbandingan Nilai Ti Sebelum dan Sesudah.....	56
<b>Tabel 4.11</b>	Perbandingan <i>Failure Rate</i> Sebelum dan Sesudah .	56
<b>Tabel 4.12</b>	Perbandingan <i>Maintenance Cost</i> .....	57

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pada umumnya industri di dunia berlomba-lomba untuk mendapatkan profit sebesar-besarnya. Kegagalan produksi merupakan kejadian yang sangat dihindari oleh suatu industri. Pengeluaran *maintenance cost* terendah dan kualitas *maintenance* yang baik merupakan upaya optimisasi untuk mendapatkan profit yang maksimum. Hal-hal di atas dapat diperoleh dengan beberapa upaya, salah satunya adalah memilih metode *maintenance* dan pemilihan komponen atau teknologi berdasarkan *failure rate* ( $\lambda$ ) yang terbaik.

PLTU merupakan pembangkit listrik yang memanfaatkan uap yang dipanaskan, untuk menggerakkan generator. Peralatan utama PLTU adalah boiler, turbin, generator, transformator, kondenser, *ash handling*, *coal handling* dan *water treatment plant*. Selain peralatan utama proses produksi, ada juga peralatan-peralatan pendukung yang fungsinya juga sangat penting, diantaranya adalah *equipment* pada *boiler feed pump turbine* (BFPT). Mahalnya proses pengolahan air yang akan menjadi bahan baku untuk steam pada boiler menuntut manajemen PLTU Jatim mencari cara untuk meminimalisir biaya produksi. Salah satunya yakni dengan memanfaatkan *steam* dari proses utama. *Steam* yang telah digunakan untuk menggerakkan turbin kemudian diproses kembali untuk dijadikan bahan baku proses PLTU. *Steam* dikondensasikan di dalam kondenser dengan media pendingin air laut dan dialirkan oleh *boiler feedwater pump* (BFP) menuju boiler. Begitu seterusnya dan siklus tersebut berulang-ulang kembali.

Pada proses yang terjadi di BFP, seringkali mengalami *error*, utamanya di sistem BFPT. Peran dari BFP sangat penting, sehingga jika terjadi kegagalan atau *error* maka akan mengakibatkan gangguan proses pada mesin. Imbasnya hal ini menjadi kerugian yang sangat besar bagi perusahaan baik dari hilangnya asset perusahaan, kerusakan luas terhadap lingkungan, membahayakan para pekerja dan tentunya juga bisa menyebabkan *downtime* yang berimbas pada *loss production cost*[1]. Maka dari itu, penting bagi PLTU Jatim untuk menjaga keandalan dari semua

equipmentnya termasuk BFPT agar efisiensi yang diharapkan bisa tercapai.

Salah satu metode untuk mendapatkan *maintenance cost* terendah dan kualitas *maintenance* yang baik adalah RCM (*Reliability Centred Maintenance*). RCM merupakan metode yang banyak digunakan untuk mengoptimalkan tugas *preventive maintenance* untuk peralatan dinamis. Metodologi ini pertama kali digunakan di industri pesawat terbang pada tahun 1980an untuk mencapai *safety* dan *reliability* dari pengoperasian dalam *cost-efficient* dan *cost-effective*[2][3]. Tujuan utama dari RCM adalah untuk mengurangi *maintenance cost*, dengan memfokuskan pada fungsi terpenting pada suatu sistem, dan menghindari atau menghilangkan *maintenance actions* yang tidak perlu dilakukan[4]. Hal ini memfokuskan pada kegunaan dari suatu alat untuk menentukan *preventive maintenance* seperti apa yang dibutuhkan untuk meningkatkan keandalan dari *process equipment*.

RCM memiliki dua macam pengerjaan, langkah pertama adalah langkah secara kualitatif dan langkah kedua adalah secara kuantitatif. Kuantitatif adalah cara atau metode menghitung *reliability* secara matematik. Metode ini dilakukan dengan perbandingan dari data *maintenance* komponen sampai komponen tersebut mengalami kegagalan fungsi kerjanya dengan pendekatan matematik menggunakan distribusi yang sering digunakan seperti normal, eksponensial, dan weibull. Metode dapat menggunakan RCM dimana berisi FMEA (*failure mode effect and analysis*), LTA (*logic tree analysis*)[5][6]. Metode ini digunakan untuk mencari jenis, penyebab, penanganan, dan pencegahan untuk kegagalan suatu fungsi kerja pada komponen.

Agar dapat mengoptimisasi hasil dari RCM, penilaian kualitatif perlu di konversi menjadi penilaian kuantitatif sehingga hasil tersebut dapat di optimisasi menggunakan algoritma dan akan didapatkan nilai *maintenance cost* yang paling optimal menggunakan algoritma sebagai *tools* untuk optimisasi. Beberapa tahun terakhir optimasi keandalan menggunakan algoritma stokastik telah banyak dilakukan[7][8]. Salah satunya adalah menggunakan *genetic algorithm* (GA). Metode GA merupakan metode yang dapat memecahkan permasalahan yang rumit,



dimensi yang tinggi, diskrit, non-linier, dan diskontinu[9]. Dengan menggunakan metode GA memungkinkan untuk mendapatkan keseimbangan antara *reliability* dan *maintenance cost*. GA digunakan untuk mengoptimisasi suatu sistem dengan cara mengambil secara acak individu di dalam suatu populasi dengan menyocokkan dengan hasil yang diinginkan, kemudian dilakukan *crossover* atau reproduksi terhadap individu tersebut sehingga menghasilkan keturunan sesuai dengan yang dikehendaki[9].

Pada Tugas Akhir ini peneliti mencoba mengoptimisasi menggunakan GA sebagai tools untuk optimisasi dengan harapan didapatkan nilai *maintenance cost* yang paling minimum dan optimal.

## 1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan penelitian yang diangkat dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

- Bagaimana menganalisis nilai *reliability*, *availability*, *maintainability* (RAM) pada BFPT unit 1 PLTU Jatim ?
- Bagaimana mendapatkan hasil dan nilai *maintenance cost* yang optimal pada BFPT unit 1 PLTU Jatim ?

## 1.3 Tujuan

Tujuan penelitian yang ingin dicapai dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

- Menganalisis nilai RAM pada BFPT unit 1 PLTU Jatim
- Mendapatkan hasil dan nilai *maintenance cost* yang optimal pada BFPT unit 1 PLTU Jatim

## 1.4 Lingkup Kerja

Ruang lingkup dalam tugas akhir ini adalah pertama mengumpulkan data dari plant mulai dari PFD, P&ID, data sheet, *maintenance cost boiler feed pump turbine* A. Plant yang dijadikan objek penelitian adalah yang berada di PLTU Jatim unit 1 dengan metode yang digunakan untuk mengevaluasi RAM adalah RCM. Setelah data telah didapat, selanjutnya menghitung RAM menggunakan software Microsoft Excel dan Reliasoft Weibull++.

4

Metode optimasi yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah *Genetic Algorithm*.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 *Reliability*

*Reliability* atau keandalan merupakan kemungkinan dari suatu komponen atau sistem untuk dapat beroperasi atau melaksanakan fungsinya [10]. Fungsi tersebut telah ditetapkan pada kondisi pengoperasian tertentu dan dalam lingkungan tertentu untuk periode waktu yang telah ditentukan pula. Jadi, keandalan adalah kemungkinan untuk tidak mengalami kegagalan atau dapat melaksanakan fungsinya selama periode waktu ( $t$ ) atau lebih. Keandalan komponen, subsistem atau sistem produksi merupakan salah satu aspek yang dapat mempengaruhi kesuksesan proses produksi. Evaluasi keandalan dapat membantu dalam memperkirakan peluang sebuah sistem atau komponen untuk dapat melaksanakan fungsinya dalam jangka waktu tertentu dan dalam kondisi tertentu pula. Sistem atau komponen masih dapat beroperasi walaupun tidak dapat memenuhi fungsinya secara maksimal [11]. Evaluasi keandalan ada beberapa yang harus diperhatikan, antara lain sebagai berikut.

- Kegagalan dari komponen maupun sistem harus jelas dan dapat diobservasi.
- Waktu kegagalan dapat diidentifikasi.
- Pada saat kondisi normal, performansinya dapat diobservasi dengan jelas.

Nilai fungsi *reliability* merupakan nilai probabilitas, maka nilai fungsi *reliability* ( $R$ ) bernilai  $0 \leq R \leq 1$  [10]. Fungsi *reliability* dinotasikan sebagai  $R(t)$  dari sistem jika dipakai selama  $t$  satuan waktu. Probabilitas sistem dapat berfungsi dengan baik selama pemakaian  $[0, t]$ . Parameter yang akan diukur di dalam pengolahan data yaitu laju kegagalan komponen. Parameter tersebut merupakan variable random yang dapat didefinisikan secara kontinyu. Konsep waktu dalam *reliability* adalah TTF (*time to failure*). TTF sebagai waktu yang dilalui komponen saat mulai beroperasi sampai mengalami kegagalan. Perhitungan nilai

keandalan secara umum, menggunakan persamaan (2.1) hingga (2.7)[10].

$$R(t) = 1 - F(t) = \int_0^{\infty} f(t)dt \quad (2.1)$$

- Distribusi normal

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \quad (2.2)$$

- Distribusi lognormal

$$R(t) = 1 - \int_0^t \frac{1}{\sigma t \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(t-\mu)}{\sigma}\right)^2\right] dt \quad (2.3)$$

- Distribusi weibull

- Dua parameter :

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right] \quad (2.4)$$

- Tiga parameter

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t-t_0}{\eta}\right)^\beta\right] \quad (2.5)$$

- Distribusi eksponensial

- Eksponensial 1

$$R(t) = e^{-\lambda(t-t_0)} \quad (2.6)$$

- Eksponensial 2

$$R(t) = e^{-\lambda(t\gamma)} \quad (2.7)$$

## 2.2 Availability

*Availability* adalah kemungkinan sebuah komponen untuk menjalankan fungsinya (dengan berbagai aspek keandalan, kemampuan perawatan, dukungan perawatan). *Availability* juga dapat diartikan sebagai ketersediaan suatu komponen dalam kurun waktu

tertentu. *Availability* yang berubah terhadap waktu dapat dihitung menggunakan persamaan (2.8) :[10].

$$A(t) = \left[ \left( \frac{\mu}{\lambda + \mu} \right) + \left( \left( \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \right) \exp(-(\lambda + \mu)t) \right) \right] \quad (2.8)$$

### 2.3 *Maintainability*

*Maintainability* merupakan kemampuan suatu komponen yang rusak untuk diperbaiki pada keandalan semula dalam kurun waktu tertentu, sesuai dengan prosedur yang telah ditentukan. *Maintainability* mempunyai rumus yang berbeda-beda pada setiap distribusi datanya[10]. Nilai *maintainability* dapat ditulis seperti persamaan (2.9) hingga (2.13):

- Distribusi normal

$$M(t) = \varphi \left( \frac{t-\mu}{\sigma} \right) \quad (2.9)$$

- Distribusi lognormal

$$M(t) = \frac{1}{\sigma t \sqrt{2\pi}} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{\ln(t-\mu)}{\sigma} \right)^2 \right] \quad (2.10)$$

- Distribusi weibull

- Dua parameter :

$$M(t) = 1 - \exp \left[ -\left( \frac{t}{\eta} \right)^\beta \right] \quad (2.11)$$

- Tiga parameter

$$M(t) = 1 - \exp \left[ -\left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta \right] \quad (2.12)$$

- Distribusi eksponensial

$$M(t) = 1 - e^{-\left( \frac{t}{MTTR} \right)} \quad (2.13)$$

## 2.4 Failure Rate

*Failure Rate* ( $\lambda$ ) adalah nilai *failure rate* yang dapat dinyatakan sebagai perbandingan waktu kegagalan yang terjadi dengan waktu total saat operasi dari suatu komponen[10]. Nilai *failure rate* dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan (2.14) hingga (2.16) [10]:

$$\lambda = \frac{f}{T} \quad (2.14)$$

$$\lambda = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.15)$$

$$\lambda(t) = \frac{1}{MTTF} \quad (2.16)$$

Dimana :

- $f$  = Kegagalan yang terjadi pada waktu operasi  
 $T$  = Total waktu operasi  
 $MTTF$  = Rata-rata kegagalan yang terjadi

Terdapat beberapa distribusi untuk menghitung *failure rate* untuk menganalisis *reliability*, *maintainability*, dan *availability* pada komponen yang ingin dianalisa. Distribusi kegagalan berdasarkan data dari TTF (*Time To Failure*). Menurut [10] terdapat beberapa distribusi yaitu:

- Distribusi normal

$$M(t) = \varphi \left( \frac{t-\mu}{\sigma} \right) \quad (2.17)$$

- Distribusi lognormal

$$M(t) = \frac{1}{\sigma t \sqrt{2\pi}} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{\ln(t-\mu)}{\sigma} \right)^2 \right] \quad (2.18)$$

- Distribusi weibull

- Dua parameter :

$$M(t) = 1 - \exp \left[ -\left( \frac{t}{\eta} \right)^\beta \right] \quad (2.19)$$

- Tiga parameter

$$M(t) = 1 - \exp \left[ -\left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta \right] \quad (2.20)$$

- Distribusi eksponensial

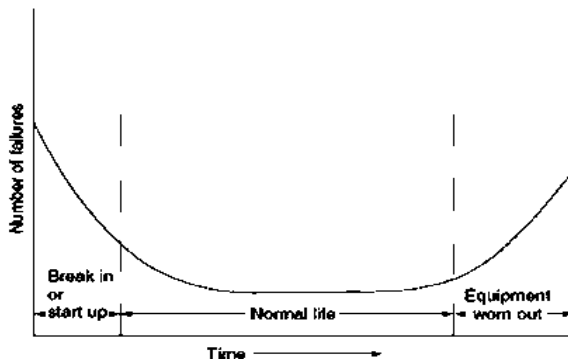
$$M(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{MTTR}\right)} \quad (2.21)$$

## 2.5 Reliability Centered Maintenance

*Maintenance* berasal dari kata "to maintain" yang memiliki arti "merawat". Dan memiliki padanan kata yaitu "to repair" yang berarti memperbaiki. Sehingga *maintenance* (perawatan) adalah sebuah perlakuan merawat atau memperbaiki suatu komponen agar dapat kembali digunakan dan berumur panjang.

*Reliability Centered Maintenance* (RCM) merupakan suatu proses yang digunakan untuk menentukan apa yang harus dilakukan untuk menjamin agar suatu asset fisik dapat berlangsung terus memenuhi fungsi yang diharapkan dalam konteks operasinya saat ini atau suatu pendekatan pemeliharaan yang mengkombinasikan praktek dan strategi dari *preventive maintenance* (pm) dan *corrective maintenance* (cm) untuk memaksimalkan umur (*life time*) dan fungsi asset/sistem /*equipment* dengan biaya minimal (*minimum cost*).

Pemikiran utama dari RCM adalah semua mesin yang digunakan memiliki batas umur, dan jumlah kegagalan yang umumnya terjadi mengikuti "kurva bak mandi (*bath-up curve*)" seperti terlihat dari gambar 2.1 :



**Gambar 2.1** Hubungan antara jumlah kegagalan mesin dan waktu pengoperasian [3]

Ada 7 pertanyaan dasar yang harus diajukan agar implementasi dari RCM dapat berlangsung secara efektif , yaitu [3]:

- 1) Apa fungsi-fungsi dan standar-standar prestasi dan kaitannya dengan asset dalam konteks operasinya saat ini?
- 2) Dengan jalan apa saja asset ini dapat gagal untuk memenuhi fungsi-fungsinya?
- 3) Apa yang menyebabkan masing-masing kegagalan fungsi?
- 4) Apa yang terjadi apabila setiap kegagalan timbul?
- 5) Apa saja yang dipengaruhi oleh setiap kegagalan?
- 6) Apa yang harus dilakukan untuk mencegah setiap kegagalan?
- 7) Apa yang harus dilakukan apabila suatu cara pencegahan tidak dapat ditemukan?

Sebagai contoh dalam perawatan sebuah sepeda motor keseluruhan proses perawatan yang dilakukan oleh konsumen dengan menggunakan jasa mekanik, perawatan tersebut berujung pada satu tujuan yaitu menjaga kondisi sepeda motor agar dapat beroperasi secara optimal sekaligus juga mengutamakan keselamatan konsumen. Sejalan dengan maksud dan tujuan tersebut, maka setiap komponen yang terdapat dalam sub-assembly sepeda motor memiliki suatu filosofi yaitu bagaimana perawatan yang dilakukan tidak hanya memperbaiki kegagalan yang terjadi, tetapi bagaimana mencegah terjadinya kegagalan, dan mengurangi efek negatif yang ditimbulkan akibat kegagalan.

Melakukan RCM untuk menentukan jenis tindakan *maintenance* yang cocok untuk dilakukan pada setiap komponen yang termasuk dalam skup bahasan. Terdapat pula tahapan penyusunan *Reliability Centered Maintenance* (RCM), yaitu antara lain sebagai berikut :

- a. Fungsi sistem dalam konteks operasional (*system function*).
- b. Kegagalan aset dalam menjalankan fungsinya (*functional failure*).
- c. Penyebab terjadinya kegagalan fungsi (*failure modes*).
- d. Efek yang ditimbulkan apabila aset mengalami kegagalan (*failure effect*).
- e. Konsekuensi apabila kegagalan aset terjadi (*failure consequences*).



- f. Kegiatan yang dilakukan untuk memprediksi atau mencegah kegagalan (*proactive task and initial interval*).
- g. Kegiatan yang dilakukan apabila langkah proactive yang sesuai tidak ditemukan (*default action*).

## 2.6 *System Function and Functional Failure*

Pada metode RCM langkah pertama yang dilakukan adalah dengan mendefinisikan fungsi dari setiap unit ataupun komponen yang beroperasi pada sistem tersebut (*system function*), terkait dengan standar kinerja yang diinginkan. Ekspektasi perusahaan terhadap fungsi yang dapat dilakukan oleh komponen dapat dibagi ke dalam dua kategori, yaitu[2] .

- a. Fungsi primer, merupakan penjelasan tentang alasan mengapa komponen tersebut sangat penting. Kategori ini mencakup hal-hal utama seperti kecepatan, output dari komponen, akurasi, kapasitas pembawaan, kapasitas penyimpanan dan kualitas produk.
- b. Fungsi sekunder, merupakan penjelasan tambahan dimana setiap komponen diharapkan dapat melakukan lebih dari fungsi utamanya. Kategori ini hal-hal seperti keamanan, kenyamanan, aspek ekonomi, pemenuhan standar regulasi lingkungan, efisiensi dan tampilan dari aset itu sendiri.

Selanjutnya, *functional failure* bertujuan untuk menjelaskan bagaimana sistem tersebut dapat mengalami kegagalan dalam melaksanakan *system function*. Dalam metode RCM, keadaan gagal diartikan sebagai kegagalan dari komponen dalam melakukan fungsinya. Hal tersebut berarti komponen tidak mampu memenuhi fungsi dari standar kinerja yang telah ditentukan perusahaan. Selain ketidakmampuan dalam menjalankan fungsinya, fungsi kegagalan juga meliputi kegagalan parsial, dimana komponen tetap berfungsi tetapi bukan pada performansi yang baik (*bad performance*) dan tingkat akurasinya lebih rendah. Fungsi kegagalan ini hanya akan dapat diidentifikasi setelah fungsi dan standar kinerja dari komponen sudah ditetapkan. Deskripsi *system function* dan *functional failure* dicontohkan pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1** Deskripsi *System Function and Functional Failure*[2]

<i>System Function</i>		<i>Functional Function</i>	
1	Untuk menyalurkan semua gas buang panas turbin tanpa pembatasan fixed point 10 meter di atas atap ruangan turbin.	A	Sama sekali tidak dapat meyalurkan gas.
		B	Aliran gas terbatas
		C	Gagal menampung gas
		D	Gagal mengalirkan gas sampai ke titik 10 meter di atas atap.
2	Untuk memastikan temperatur saluran permukaan di dalam ruang turbin tidak meningkat melebihi 60° C	A	Temperatur saluran permukaan melebihi 60° C
3	Untuk mengurangi tingkat kebisingan gas buang (exhaust noise level ) berdasarkan ISO <i>noise</i> rating 30 pada ketinggian 150 meter	A	Tingkat kebisingan melebihi ISO <i>noise</i> rating 30 pada ketinggian 150 meter

### 2.7 *Failure Mode & Effect Analysis (FMEA)*

Proses *Reliability Centred Maintenance (RCM)* pada suatu sistem atau komponen memiliki langkah – langkah yang berkaitan satu dengan yang lainnya. Karena tujuan dari RCM adalah untuk menentukan *maintenance task*, durasi waktu agar dapat menjadwalkan kapan saja harus melakukan *maintenance* dan kapan harus menyelesaikan kegagalan dari suatu sistem atau komponen, dan menentukan siapa yang harus melakukan *maintenance*. Melalui metode *Failure Mode & Effect Analysis (FMEA)* untuk menganalisis kegagalan tersebut untuk dapat di *maintenance*. Karena modus kegagalan merupakan segala kejadian yang menyebabkan suatu kegagalan fungsi[2]. Kegagalan dalam FMEA ini dapat digolongkan menjadi 3 bagian berdasarkan dampak yang

diberikan terhadap suatu kegagalan. Berikut 3 golongan yang diidentifikasi oleh FMEA:

- Kegagalan fungsi dari suatu sistem atau komponen (*functional failure*)
- Modus kegagalan dari suatu sistem atau komponen (*failure mode*)
- Efek kegagalan yang terjadi (*failure effect*)

Menurut [2] menyatakan bahwa modus kegagalan harus diuraikan dengan cukup rinci agar dapat dipilih kebijakan dalam penanganan kegagalan yang sesau. Karena hal ini berkaitan dengan validitas FMEA dan jumlah waktu yang diperlukan untuk menangani atau melakukannya. Dengan mengklasifikasikan mode kegagalan sebagai berikut:

- *Evident*
- *Safety*
- *Outage*

**Tabel 2. 2** *Failure Mode and Effect Analysis*

	<b><i>FAILURE MODE</i></b>	<b><i>FAILURE EFFECT</i></b>
1	<i>Gearbox bearings seize</i>	<i>Motor trips and alarm sounds in control room. 3 hours downtime to replace gearbox with spare. New bearings fitted in workshop.</i>
2	<i>Gear teeth stripped</i>	<i>Motor does not trip but machine stops. 3 hours downtime to replace gearbox with spare. New bearings fitted in workshop.</i>
3	<i>Gearbox seizes due to lack of oil</i>	<i>Motor trips and alarm sounds in control room. 3 hours downtime to replace gearbox with spare. Seized gearbox would be scrapped.</i>

## 2.8 *Proactive Task and Initial Interval*

*Proactive Task and Initial Interval* dilakukan sebelum terjadi kegagalan untuk menghindarkan sistem atau komponen dari kondisi yang dapat menyebabkan kegagalan. Kegiatan ini biasa dikenal dengan pemeliharaan (*maintenance*).

*Bathtub curve* adalah salah satu konsep yang dapat dijadikan acuan untuk menentukan bentuk *maintenance* yang sesuai untuk suatu sistem atau komponen berdasarkan jenis laju kegagalannya yang berubah terhadap waktu. Pada *bathtub curve*, suatu komponen dapat dijelaskan menurut tiga fase utama, yaitu fase *burn-in*, *useful life*, serta *wear-out*[11].

Selama fase *burn-in* (yang dikatakan sebagai fase awal dari suatu komponen yang baru diproduksi), laju kegagalan suatu komponen akan menurun, atau disebut *Decreasing Failure Rate* (DFR). Beberapa kegagalan yang terjadi di dalam fase ini antara lain adalah ketidaksempurnaan proses manufaktur, kontrol kualitas yang kurang maksimal, cara *packaging* yang kurang tepat, atau kekurangan proses lainnya. Fase *burn-in* dikenal juga dengan sebutan *debugging region*, *infant mortality region*, atau *break-in region*. Kemudian, selama fase *useful life*, laju kegagalan komponen adalah konstan, atau disebut *Constant Failure Rate* (CFR). Kegagalan yang terjadi pun tidak terprediksi atau acak. Kegagalan yang mungkin di antaranya cacat komponen yang tidak terdeteksi, penyalahgunaan komponen, faktor keamanan yang rendah, *human errors*, maupun kondisi lingkungan tertentu yang sulit dihindari. Pada akhirnya, di fase *wear-out*, laju kegagalan komponen meningkat atau *Increasing Failure Rate*. (IFR). Kegagalan yang terjadi di antaranya pemeliharaan yang buruk, terjadinya korosi, maupun *overhaul* yang tidak tepat. Secara umum, jenis-jenis *maintenance* dapat dikelompokkan sebagai berikut :

### a. *Reactive Maintenance*

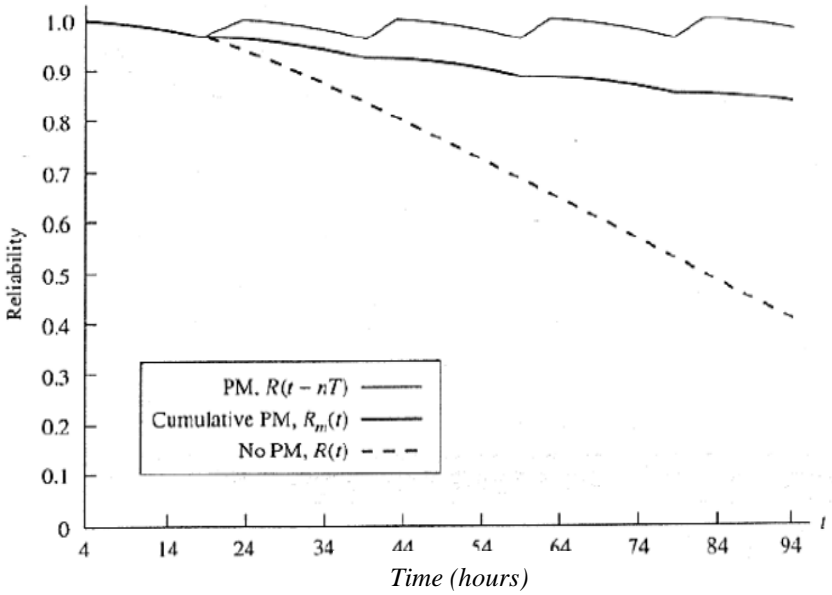
Tindakan yang dilakukan dalam jenis *maintenance* ini adalah membiarkan proses tetap berjalan pada suatu peralatan tertentu sampai peralatan tersebut mengalami kerusakan fungsi. Tidak ada aksi atau tindakan yang diambil untuk mengembalikan peralatan tersebut kedalam *design life*-nya.

b. *Proactive Maintenance*

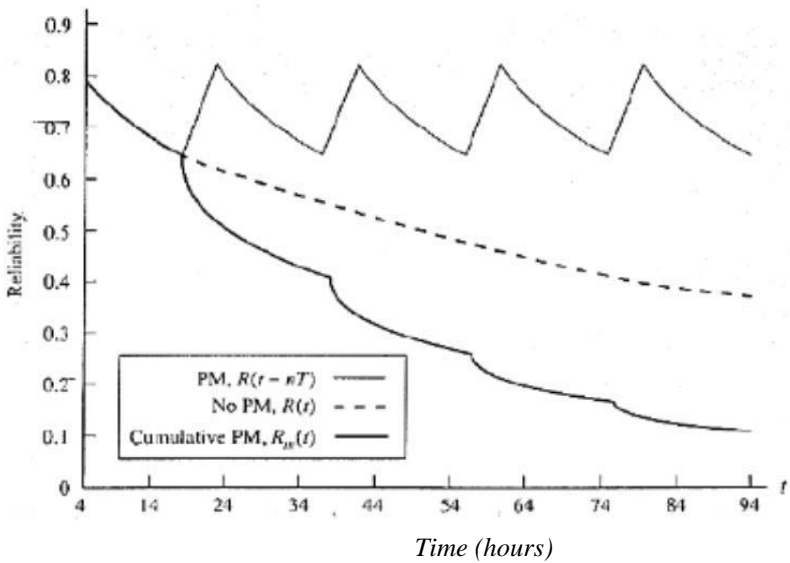
Tindakan proaktif untuk mencegah terjadinya kegagalan, tindakan ini dibagi mejadi dua. Pertama, *predictive maintenance*, merupakan tindakan proaktif yang dilakukan guna melakukan pencegahan terhadap kemungkinan terjadinya kerusakan, namun kegiatannya tidak terjadwal secara teratur. Kedua, *preventive maintenance*, merupakan tindakan proaktif atau upaya pemeliharaan yang dilakukan sebelum terjadi kerusakan.

*Predictive maintenance* mencegah kegagalan peralatan sebelum terjadi kerusakan total. Dalam RCM, *predictive maintenance* dikategorikan ke dalam aktivitas *scheduled oncondition task*, yaitu kegiatan dalam mengecek potensi kegagalan sehingga kegagalan tersebut dapat dicegah untuk menghindarkan pada konsekuensi dari terjadinya kegagalan fungsi. *Scheduled on condition task* tersebut diimplementasikan pada komponen dengan laju kegagalan konstan, yang artinya berada pada fase *useful life* berdasarkan *bathtub curve*.

*Preventive maintenance* diimplementasikan pada peralatan yang mengalami fase *wear-out*, yaitu komponen yang laju kegagalannya semakin meningkat atau *Increasing Failure Rate* (IFR). Tujuannya adalah untuk menjaga komponen agar tetap menjalankan fungsinya dengan baik, bahkan dapat membantu komponen tersebut kembali pada fase *usefull life*-nya. Dalam RCM, *preventive maintenance* dikategorikan ke dalam *scheduled restoration task* ataupun *scheduled discard task*. *Scheduled restoration task* meliputi jadwal kegiatan secara periodik untuk mengganti komponen yang sudah ada sehingga komponen dapat kembali melakukan fungsi kerjanya secara maksimal dan lebih akurat sebelum mengalami kegagalan fungsi (dalam pelaksanaannya, mesin harus dihentikan). Sementara itu, *scheduled discard task* merupakan kegiatan penggantian komponen dengan komponen yang baru pada interval waktu tertentu tanpa memperhatikan kondisi komponen pada saat itu.



**Gambar 2.2** Hasil respon dengan *increasing failure rate* [10]



**Gambar 2.3** Hasil respon dengan decreasing Failure Rate.[2]

Secara matematis, *preventive maintenance* dirumuskan pada persamaan (2.22)[2] :

$$Rm(t)=R(T)nR(T-nT) \quad (2.22)$$

Implementasi *preventive maintenance* diilustrasikan berdasarkan Gambar 2.3 dan 2.4.

## 2.9 *Failure Consequence*

Ketika dibentuk daftar untuk mode kegagalan pada setiap komponen dari suatu sistem dan keterkaitan fungsional antara semua modus kegagalan komponen dan kegagalan fungsional ditemukan, dibutuhkan untuk menetapkan pengaruh setiap mode kegagalan di tingkat lokal maupun di tingkat sistem dan *plant*. Keputusan tersebut sama sekali tidak sederhana, oleh sebab itu dibutuhkannya *expert judgement* dari tenaga ahli. Sehingga *failure consequence* digunakan untuk tujuan mencari mode kegagalan (*failure mode*).

Pada RCM terdapat 4 jenis konsekuensi yang harus dianalisa yaitu:

- *Hidden Failure Consequences*  
Kegagalan yang tersembunyi sehingga sulit untuk menentukan penyebabnya.
- *Safety and Environment Consequences*  
Kegagalan yang terjadi yang berpotensi merusak lingkungan dan membahayakan keselamatan pekerja.
- *Operational Consequences*  
Kegagalan yang terjadi menyebabkan proses produksi atau operasional terganggu atau sampai berhenti.
- *Non-operational Consequences*  
Kegagalan yang terjadi tidak berdampak pada lingkungan, keselamatan, dan produksi. Contohnya seperti biaya dalam perbaikan sebuah komponen.

## 2.10 *Proactive Tasks and Default Action*

*Proactive Task* adalah tindakan yang dilakukan untuk memprediksi atau mencegah setiap kegagalan [2]. Tindakan proaktif dilakukan untuk mengurangi kemungkinan terjadinya kegagalan ke tingkat yang rendah serta dapat ditoleransikan.

Berikut ini adalah beberapa kegiatan yang dilakukan pada *proactive task* :

- *On-Condition Task*

Pada kegiatan *on-condition task* berisi pengecekan kondisi dari potensi kegagalan yang dapat terjadi sehingga dapat diambil tindakan pencegahan terhadap kegagalan fungsi atau menghindari konsekuensi kegagalan fungsional.

- *Scheduled Restoration Task*

Pada kegiatan *scheduled restoration task* dilakukan perawatan secara terjadwal karena biasanya penyebab kegagalan berhubungan dengan *lifetime*.

Ketika tidak ditemukannya tindakan proaktif yang sesuai dan sebelumnya tidak dapat dilakukan maka kegiatan yang selanjutnya adalah *Default Action*. Terdapat beberapa kegiatan yang dilakukan pada *Default Action* yaitu *failure finding task*, *redesign*, *no scheduled maintenance task* dan berikut ini adalah penjelasan untuk setiap kegiatan pada *Default Action* :

- *Failure Finding Task*

Pada kegiatan ini dilakukan pengecekan suatu fungsi komponen untuk mengetahui apakah fungsi tersebut dapat menjalankan fungsinya atau tidak.

- *Redesign*

Terdapat dua pemahaman tentang *redesign*. Pertama mengarah pada perubahan spesifikasi komponen seperti menambah komponen baru atau mengganti komponen komponen yang lama. Kedua adalah melakukan perubahan pada prosedur yang mempengaruhi pengoperasian.

- *No Scheduled Maintenance Task*

Kegiatan ini dilakukan ketika kegagalan yang terjadi tidak berpengaruh pada keselamatan atau lingkungan. Dalam hal ini komponen akan dibiarkan bekerja sampai terjadi kegagalan kemudian dilakukan perbaikan.

## 2.11 *Maintenance Cost*

*Maintenance cost* dipengaruhi oleh tiap tiap *maintenance task*. Adapun persamaan dari *maintenance cost* dapat diartikan



pulai sebagai cost of operational. Adapun persamaan *maintenance cost* (2.23) hingga (2.26) [12]

$$C_{OP} = C_{PM} + C_T + C_{CM} \quad (2.23)$$

$$C_{PM} = \frac{1}{M} \times C_{pm} \times N \quad (2.24)$$

$$C_T = \frac{1}{T_i} \times C_t \times N \quad (2.25)$$

$$C_{CM} = \lambda_T \times C_{cm} \times N \quad (2.26)$$

Dimana:

$C_{OP}$  = Operational cost

$N$  = Jumlah instrumen/peralatan

$C_{PM}$  = Preventive maintenance cost

$C_T$  = Test cost

$C_{CM}$  = Corrective maintenance cost

$\lambda_T$  = Total failure rate

$M$  = Frekuensi maintenance tiap komponen

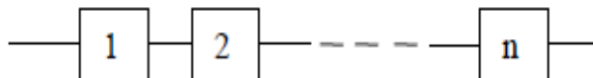
$T_i$  = Time interval

## 2.12 Pemodelan Sistem

Pada saat mencari nilai kehandalan secara keseluruhan didalam suatu sistem maka perlu mengetahui jenis konfigurasi sistem tersebut. Setiap sistem mempunyai komponen yang membentuk konfigurasi dalam menjalankan fungsinya. Berikut ini adalah jenis-jenis konfigurasi sistem.

- Konfigurasi Seri

Pada sistem dengan susunan komponen seri, komponen secara keseluruhan harus berfungsi agar sistem dapat berjalan. Hubungan seri dari suatu sistem dapat digambarkan dalam suatu diagram blok seperti gambar 2.5.



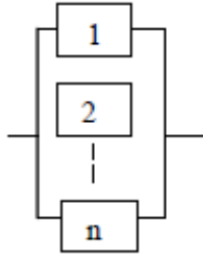
**Gambar 2.4** Konfigurasi seri [10]

Sehingga persamaan pada perhitungan konfigurasi seri ditunjukkan dengan persamaan (2.26)[10].

$$R_S = P(E_1 \cap E_2) = P(E_1)P(E_2) = R_1(R_2) \quad (2.26)$$

- **Konfigurasi Paralel**

Dua atau lebih komponen dalam susunan paralel atau redundant, jika semua komponen gagal maka sistem tidak akan berjalan. Namun, apabila salah satu komponen terjadi kegagalan dan komponen yang lain masih menjalankan fungsinya dengan baik, maka sistem masih dapat berjalan. Hubungan paralel dari suatu sistem dapat digambarkan dalam suatu diagram blok seperti gambar 2.6.



**Gambar 2.5** Konfigurasi paralel [10]

Secara umum reliability sistem paralel ditunjukkan pada persamaan (2.27)[10].

$$R_P = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - R_i(t)] \quad (2.27)$$

### 2.13 Algoritma Stokastik

Banyak persoalan keputusan yang dapat dimodelkan dengan menggunakan program matematika yang bertujuan menentukan nilai maksimum atau minimum. Keputusan yang dihasilkan akan bergantung kepada kendala yang dibatasi oleh sumber dana, persyaratan minimum dan lain-lain. Keputusan yang dinyatakan oleh variabel dapat berupa bilangan cacah atau tidak negatif. Tujuan dan kendala adalah fungsi dari variabel, dan persoalan data.

Program stokastik adalah sebuah nama yang menyatakan program matematika yang dapat berupa linear, cacah, cacah campuran, non linear dengan menampilkan elemen stokastik pada

data tunggal dan berfrekuensi. Oleh karena itu dapat dinyatakan bahwa:

- Pada program matematika deterministik, data (koefisien) adalah bilangan-bilangan yang diketahui (tertentu).
- Pada program stokastik, data (koefisien) merupakan bilangan yang tidak diketahui (tidak pasti) yang disajikan sebagai distribusi peluang.

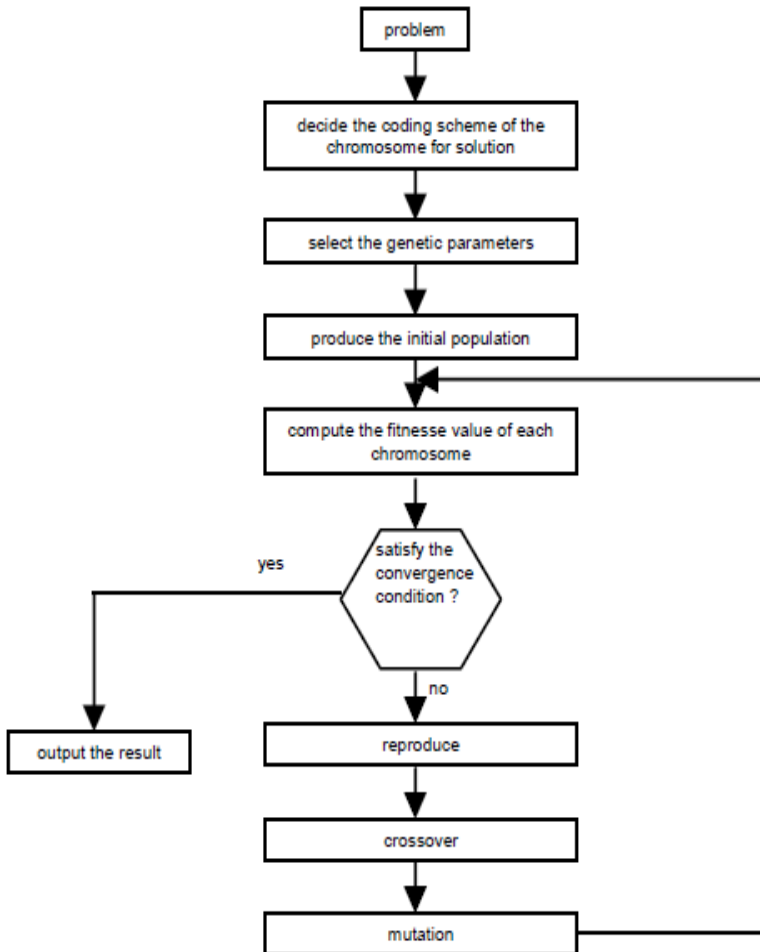
Program stokastik merupakan program matematika dengan situasi (yang mengandung) ketidakpastian. Program stokastik merupakan program matematika, dimana beberapa data yang termuat pada tujuan atau kendala mengandung ketidakpastian, ketidakpastian biasanya dicirikan oleh distribusi peluang pada parameter. Walaupun ketidakpastian didefinisikan dengan tepat tetapi pada prakteknya diberikan beberapa skenario (hasil yang mungkin dari data) yang spesifik dan distribusi peluang gabungan yang cepat.

#### **2.14 Genetic Algorithm**

*Genetic Algorithm* (GA) merupakan salah satu metode multi objektif yang digunakan untuk memecahkan masalah berbasis proses seleksi alam dengan meniru evolusi biologi[13]. GA merupakan jenis algoritma pencarian dan ppenyempurnaan metaheuristik yang terinspirasi oleh prinsip seleksi alam Darwin[14]. Metode GA merupakan metode yang dapat memecahkan permasalahan yang rumit, dimensi yang tinggi, diskrit, non-linier, dan diskontinyu [12]. Dengan menggunakan metode GA memungkinkan untuk mendapatkan keseimbangan antara *reliability* dan *maintenance cost*. GA digunakan untuk mengoptimisasi suatu sistem dengan cara mengambil secara acak individu di dalam suatu populasi dengan menyocokkan dengan hasil yang diinginkan, kemudian dilakukan *crossover* atau reproduksi terhadap individu tersebut sehingga menghasilkan keturunan sesuai dengan yang dikehendaki [12][13].

GA yang efektif dipengaruhi oleh operator *crossover* dan komplementer mutasinya. Tingkat keefektifitasan operator *crossover* menentukan tingkat konvergensi, sedangkan operator mutasi berperan dalam mencegah algoritma dalam menghasilkan hasil optimisasi berupa hasil lokal yang optimal. Jumlah anak –

anak dan mutan yang dihasilkan pada tiap generasi merupakan suatu parameter yang konstan selama dilakukannya optimisasi [15].



**Gambar 2.6** Diagram alir GA

Gambar 2.7 Menunjukkan diagram alir GA secara umum. Dari gambar 2.7 dapat dilihat bahwa tahap pertama dalam melakukan optimisasi dengan menggunakan GA dimulai dengan menentukan fungsi objektif [16]. Tahap selanjutnya adalah

menentukan parameter-parameter optimisasi seperti kromosom, *elitism*, *crossover rate* dan *mutation rate*. Kemudian akan dilakukan proses kawin silang terhadap individu-individu tersebut dipresentasikan dengan kromosom yang telah ditentukan. Tahap berikutnya adalah dilakukannya mutasi terhadap individu-individu baru tersebut. Proses tersebut akan berulang hingga telah mencapai iterasi yang telah ditentukan.

Tahap pertama yang dilakukan dalam melakukan optimisasi adalah menentukan fungsi objektif. Variabel yang akan dioptimisasi pada Tugas akhir ini adalah *failure rate*. Sedangkan fungsi objektif pada tugas akhir ini adalah *maintenance cost*. Dari penjelasan sebelumnya, dapat diketahui bahwa hasil optimisasi yang diinginkan adalah didapatkannya nilai *failure rate* yang paling optimum. Nilai *failure rate* paling rendah merupakan nilai yang paling optimum sehingga. Ketika nilai *failure rate* optimum maka akan didapatkan nilai *reliability* yang baik dan *maintenance cost* paling rendah.

Berikut adalah contoh aplikasi yang menggunakan algoritma genetika untuk menyelesaikan masalah kombinasi. Persamaan  $a + 2b + 3c + 4d = 30$ , algoritma genetika akan digunakan untuk mencari nilai  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , dan  $d$  yang memenuhi persamaan di atas. Pertama kita harus merumuskan

Solusi Chromosome Chromosome Chromosome Chromosome  
Evaluasi Populasi Roulette wheel Selection Crossover Mutation  
End? Solusi Chromosome Terbaik =  $i + 1$  NYencoding Generasi  
Decoding Next

fungsi objektif, untuk masalah ini tujuannya adalah meminimalkan nilai fungsi  $f(x)$  di mana  $f(x) = ((a + 2b + 3c + 4d) - 30)$ . Karena ada empat variabel dalam persamaan, yaitu,  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , dan  $d$ , kita dapat menyusun kromosom sebagai berikut: Untuk mempercepat perhitungan, kita dapat membatasi nilai variabel  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , dan  $d$  adalah bilangan bulat antara 0 dan 30.

Langkah 1. Inisialisasi

Misalnya kita mendefinisikan jumlah kromosom dalam populasi adalah 6, maka kita menghasilkan nilai acak gen  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  untuk 6 kromosom

Kromosom [1] =  $[a; b; c; d] = [12; 05; 23; 08]$

Kromosom [2] =  $[a; b; c; d] = [02; 21; 18; 03]$

Kromosom [3] = [a; b; c; d] = [10; 04; 13; 14]

Kromosom [4] = [a; b; c; d] = [20; 01; 10; 06]

Kromosom [5] = [a; b; c; d] = [01; 04; 13; 19]

Kromosom [6] = [a; b; c; d] = [20; 05; 17; 01]

Langkah 2. Evaluasi

Nilai fungsi objektif dihitung untuk setiap kromosom yang diproduksi pada langkah inisialisasi:

$$F\_obj [1] = Abs ((12 + 2 * 05 + 3 * 23 + 4 * 08) - 30)$$

$$= Abs ((12 + 10 + 69 + 32) - 30)$$

$$= Abs (123 - 30)$$

$$= 93$$

$$F\_obj [2] = Abs ((02 + 2 * 21 + 3 * 18 + 4 * 03) - 30)$$

$$= Abs ((02 + 42 + 54 + 12) - 30)$$

$$= Abs (110 - 30)$$

$$= 80$$

$$F\_obj [3] = Abs ((10 + 2 * 04 + 3 * 13 + 4 * 14) - 30)$$

$$= Abs ((10 + 08 + 39 + 56) - 30)$$

$$= Abs (113 - 30)$$

$$= 83$$

$$F\_obj [4] = Abs ((20 + 2 * 01 + 3 * 10 + 4 * 06) - 30)$$

$$= Abs ((20 + 02 + 30 + 24) - 30)$$

$$= Abs (76 - 30)$$

$$= 46$$

$$F\_obj [5] = Abs ((01 + 2 * 04 + 3 * 13 + 4 * 19) - 30)$$

$$= Abs ((01 + 08 + 39 + 76) - 30)$$

$$= Abs (124 - 30)$$

$$= 94$$

$$F\_obj [6] = Abs ((20 + 2 * 05 + 3 * 17 + 4 * 01) - 30)$$

$$= Abs ((20 + 10 + 51 + 04) - 30)$$

$$abcd$$

$$= Abs (85 - 30)$$

$$= 55$$

Langkah 3. Seleksi

1. Kromosom yang paling cocok memiliki probabilitas lebih tinggi untuk dipilih untuk generasi berikutnya. Untuk menghitung probabilitas kebugaran, kebugaran dihitung setiap kromosom. Untuk menghindari pembagian dengan masalah nol, nilai  $F\_obj$  ditambahkan oleh 1.

$$\text{Kebugaran [1]} = 1 / (1 + F_{\text{obj}} [1])$$

$$= 1/94$$

$$= 0,0106$$

$$\text{Kebugaran [2]} = 1 / (1 + F_{\text{obj}} [2])$$

$$= 1/81$$

$$= 0,0123$$

$$\text{Kebugaran [3]} = 1 / (1 + F_{\text{obj}} [3])$$

$$= 1/84$$

$$= 0,0119$$

$$\text{Kebugaran [4]} = 1 / (1 + F_{\text{obj}} [4])$$

$$= 1/47$$

$$= 0,0213$$

$$\text{Kebugaran [5]} = 1 / (1 + F_{\text{obj}} [5])$$

$$= 1/95$$

$$= 0,0105$$

$$\text{Kebugaran [6]} = 1 / (1 + F_{\text{obj}} [6])$$

$$= 1/56$$

$$= 0,0179$$

$$\text{Total} = 0,0106 + 0,0123 + 0,0119 + 0,0213 + 0,0105 + 0,0179$$

$$= 0,0845$$

Probabilitas untuk setiap kromosom dirumuskan oleh:  $P [i] = \text{Kebugaran [i]} / \text{Total}$

$$P [1] = 0,0106 / 0,0845$$

$$= 0,1254$$

$$P [2] = 0,0123 / 0,0845$$

$$= 0,1456$$

$$P [3] = 0,0119 / 0,0845$$

$$= 0,1408$$

$$P [4] = 0,0213 / 0,0845$$

$$= 0,2521$$

$$P [5] = 0,0105 / 0,0845$$

$$= 0,1243$$

$$P [6] = 0,0179 / 0,0845$$

$$= 0,2118$$

Dari probabilitas di atas kita dapat melihat bahwa Kromosom 4 yang memiliki kebugaran tertinggi, kromosom ini memiliki probabilitas tertinggi untuk dipilih untuk kromosom generasi berikutnya. Untuk

proses seleksi kita menggunakan roda roulette, untuk itu kita harus menghitung nilai probabilitas kumulatif:

$$C [1] = 0,1254$$

$$C [2] = 0,1254 + 0,1456 = 0,2710$$

$$C [3] = 0,1254 + 0,1456 + 0,1408 = 0,4118$$

$$C [4] = 0,1254 + 0,1456 + 0,1408 + 0,2521 = 0,6639$$

$$C [5] = 0,1254 + 0,1456 + 0,1408 + 0,2521 + 0,1243 = 0,7882$$

$$C [6] = 0,1254 + 0,1456 + 0,1408 + 0,2521 + 0,1243 + 0,2118 = 1.0$$

Setelah menghitung probabilitas kumulatif proses seleksi menggunakan roda roulette dapat dilakukan. Prosesnya adalah untuk menghasilkan angka acak R dalam kisaran 0-1 sebagai berikut.

$$R [1] = 0,201$$

$$R [2] = 0,284$$

$$R [3] = 0,099$$

$$R [4] = 0,822$$

$$R [5] = 0,398$$

$$R [6] = 0,501$$

Jika angka acak R [1] lebih besar dari C [1] dan lebih kecil dari C [2] maka pilih Kromosom [2] sebagai kromosom dalam populasi baru untuk generasi berikutnya:

$$\text{Kromosom Baru [1]} = \text{Kromosom [2]}$$

$$\text{NewChromosome [2]} = \text{Chromosome [3]}$$

$$\text{NewChromosome [3]} = \text{Chromosome [1]}$$

$$\text{NewChromosome [4]} = \text{Chromosome [6]}$$

$$\text{NewChromosome [5]} = \text{Chromosome [3]}$$

$$\text{NewChromosome [6]} = \text{Chromosome [4]}$$

Kromosom dalam populasi dengan demikian menjadi:

$$\text{Kromosom [1]} = [02; 21; 18; 03]$$

$$\text{Kromosom [2]} = [10; 04; 13; 14]$$

$$\text{Kromosom [3]} = [12; 05; 23; 08]$$

$$\text{Kromosom [4]} = [20; 05; 17; 01]$$

$$\text{Kromosom [5]} = [10; 04; 13; 14]$$

$$\text{Kromosom [6]} = [20; 01; 10; 06]$$

Dalam contoh ini, kami menggunakan satu titik potong, yaitu secara acak memilih posisi dalam kromosom induk lalu bertukar sub-kromosom. Kromosom induk yang akan dikawinkan dipilih



secara acak dan jumlah kromosom pasangan dikontrol menggunakan parameter `crossover_rate` ( $\rho c$ ). Kode semu untuk proses crossover adalah sebagai berikut:

```

mulai
k ← 0;
sementara (k < populasi) lakukan
R [k] = acak (0-1);
jika (R [k] <  $\rho c$ ) maka
pilih Kromosom [k] sebagai induk;
akhir;
k = k + 1;
akhir;
akhir;

```

Kromosom  $k$  akan dipilih sebagai induk jika  $R [k] < \rho c$ . Misalkan kita menetapkan bahwa tingkat crossover adalah 25%, maka nomor Kromosom  $k$  akan dipilih untuk crossover jika nilai acak yang dihasilkan untuk Kromosom  $k$  di bawah 0,25. Prosesnya adalah sebagai berikut: Pertama kita menghasilkan angka acak  $R$  sebagai jumlah populasi.

```

R [1] = 0,191
R [2] = 0,259
R [3] = 0,760
R [4] = 0,006
R [5] = 0,159
R [6] = 0,340

```

Untuk angka acak  $R$  di atas, orang tua adalah Kromosom [1], Kromosom [4] dan Kromosom [5] akan dipilih untuk crossover.

```

Kromosom [1] > <Kromosom [4]
Kromosom [4] > <Kromosom [5]
Kromosom [5] > <Kromosom [1]

```

Setelah pemilihan kromosom, proses selanjutnya adalah menentukan posisi titik crossover. Ini dilakukan dengan menghasilkan angka acak antara 1 hingga (panjang Kromosom - 1). Dalam hal ini, bilangan acak yang dihasilkan harus antara 1 dan 3. Setelah kami mendapatkan titik crossover, kromosom orang tua akan dipotong pada titik crossover dan gen-nya akan dipertukarkan. Sebagai contoh, kami menghasilkan 3 angka acak dan kami mendapatkan:

$$C [1] = 1$$

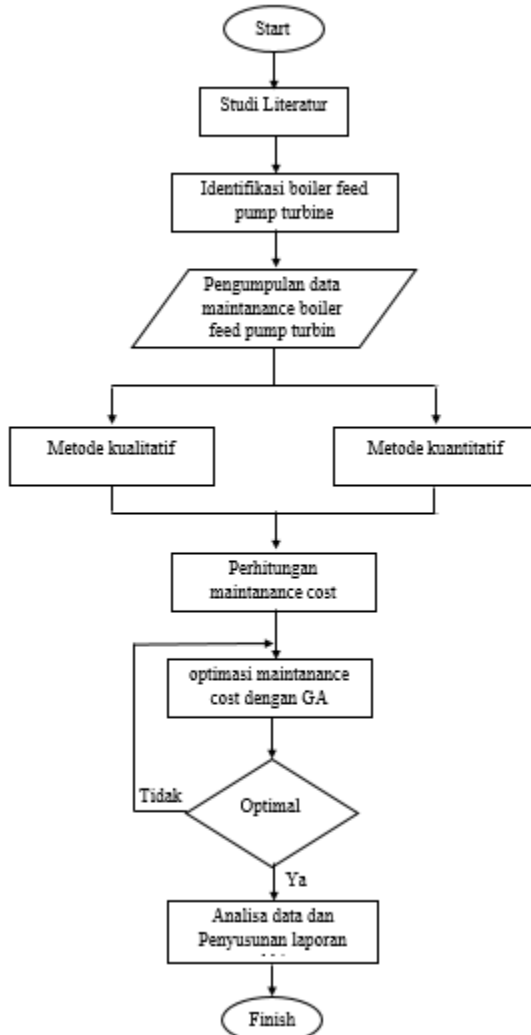
$$C [2] = 1$$

$$C [3] = 2$$

Kemudian untuk crossover pertama, crossover kedua dan crossover ketiga, gen induk akan dipotong pada gen nomor 1, gen nomor 1 dan g

### BAB III METODOLOGI

Penelitian tugas akhir ini dirancang pada beberapa tahapan, yang digambarkan pada diagram alir seperti pada gambar 3.1.



**Gambar 3.1** Diagram alir penelitian

### 3.1 Studi Literatur

Dalam tahap ini penulis mencari jurnal-jurnal yang cocok untuk mendukung teori dari judul penelitian. Selain itu buku-buku penunjang serta buku tugas akhir dari mahasiswa sebelumnya juga dipelajari untuk lebih mendalami konsep *reliability*, RCM, *boiler feed pump turbine* serta optimasi yang menjadi kunci utama terselesaikannya penelitian ini pada akhirnya.

Materi yang akan menjadi fokus yakni bagaimana mengolah data *maintenance* secara kuantitatif dan kualitatif sehingga bisa mendapatkan data *reliability* dari BFPT dan juga mengolah data sampai berujung pada *maintenance cost* yang akan didapatkan. Selanjutnya juga dipelajari cara kerja *genetic algorithm* untuk menuju *step* selanjutnya setelah dilakukan perhitungan nilai *reliability*.

### 3.2 Identifikasi dan Pengumpulan Data Sistem *Boiler Feed Pump Turbine*

Pada tahap ini adalah proses pengolahan data dari P&ID sistem *boiler feedwater* untuk ditentukan komponen-komponen apa saja yang menyusun sistem *boiler feedwater* guna menentukan sistem penyusun komponen apakah seri atau parallel yang akan mempengaruhi dari persamaan *reliability* sistem *boiler feedwater pump turbine*.

Data *maintenance* yang diambil dari PLTU adalah *maintenance record plant* dengan waktu 5 tahun ke belakang. Tahap ini merupakan tahap pengumpulan data *maintenance* yang didapatkan PLTU Jatim unit 1. Dalam pengumpulannya, data yang diperlukan untuk dicari adalah data P&ID dari *boiler feed pump turbine* dan penjadwalan *maintenance* yang ada pada *boiler feed pump turbine* PLTU Jatim unit 1. Hal ini adalah modal awal untuk bisa meneruskan pada tahap pengolahan data.

### 3.3 Analisis Kuantitatif dan Kualitatif

Tahapan metode kuantitatif, akan dilakukan evaluasi nilai *reliability*, *availability*, *maintainability*, dan *preventive maintenance*. Adapun pengolahan data-data dengan metode kuantitatif adalah penentuan *time to failure* (TTF), *time to repair* (TTR), *mean time to failure* (MTTF), *mean time to repair* (MTTR),

evaluasi keandalan tiap komponen , penentuan keandalan secara sistem, evaluasi *maintanability*, *availability* serta *preventive maintenance*. Perhitungan nilai-nilai tersebut dihitung pada setiap equipment yang termasuk dalam lingkup kerja.

Tahapan metode kualitatif , akan dilakukan evaluasi dengan menggunakan metode FMEA untuk mengetahui sebab akibat dari kerusakan komponen serta penentuan *maintenance task* dengan mengguakan diagram RCM II yang dapat dilihat pada gambar 3.2.

### 3.4 Perhitungan *Maintenance Cost*

Perhitungan *maintenance cost* akan dilakukan berdasarkan rumus yang telah ada. Perhitungan *maintenance cost* akan dipengaruhi oleh hasil dari hasil RCM *decision diagram*, hasil perhitungan *reliability* dan hasil penentuan *maintenance task* pada tiap *instrument*.

Ada lima komponen yang akan dihitung. Perhitungan *Maintenance Cost* perkomponen dijadikan fungsi objektif pada algoritma GA dengan penurunan rumus (2.23)-(2.26) dimana  $y$  adalah *maintenance cost*.

$$y = -(COP1 + COP2 + COP3 + COP4 + COP5)$$

$$COP1 = CCM1 + CPM1 + CT1$$

$$COP2 = CCM2 + CPM2 + CT2$$

$$COP3 = CCM3 + CPM3 + CT3$$

$$COP4 = CCM4 + CPM4 + CT4$$

$$COP5 = CCM5 + CPM5 + CT5$$

$$CPM1 = Cpm1 * N1 * M1$$

$$CPM2 = Cpm2 * N2 * M2$$

$$CPM3 = Cpm3 * N3 * M3$$

$$CPM4 = Cpm4 * N4 * M4$$

$$CPM5 = Cpm5 * N5 * M5$$

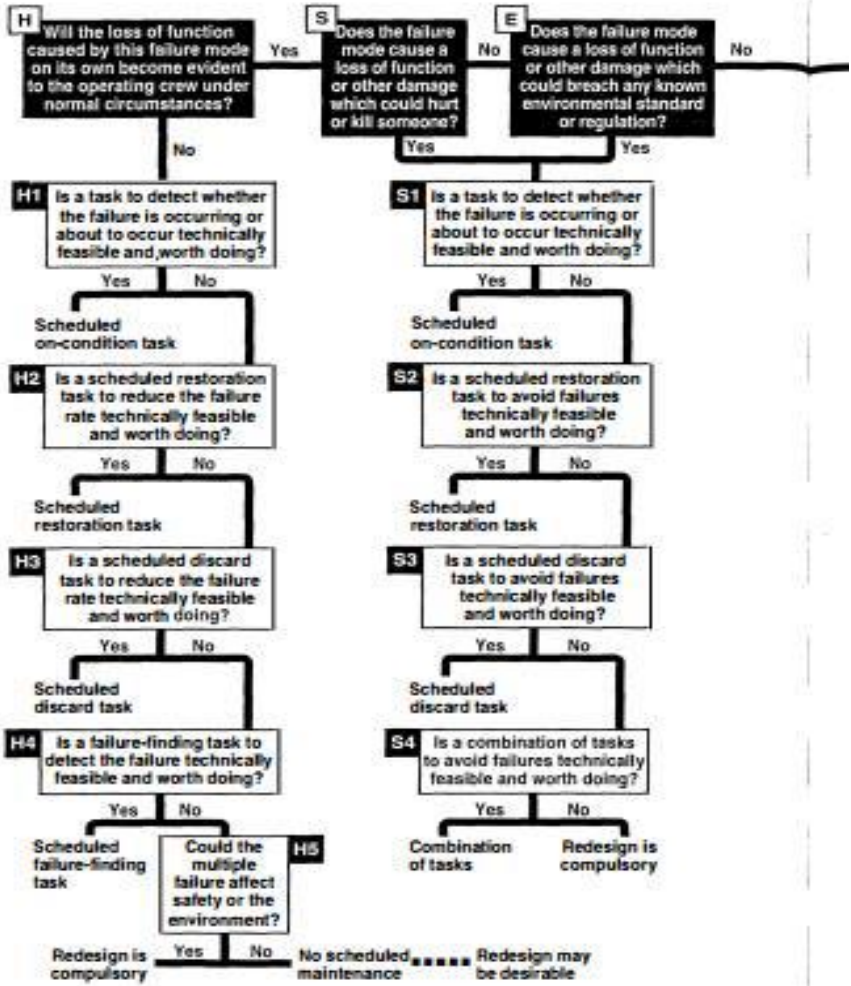
$$CCM1 = FR1 * Ccm1 * N1 * 43800$$

$$CCM2 = FR2 * Ccm2 * N2 * 43800$$

$$CCM3 = FR3 * Ccm3 * N3 * 43800$$

$$CCM4 = FR4 * Ccm4 * N4 * 43800$$

$$CCM5 = FR5 * Ccm5 * N5 * 43800$$



Gambar 3.2 RCM decision diagram[2]

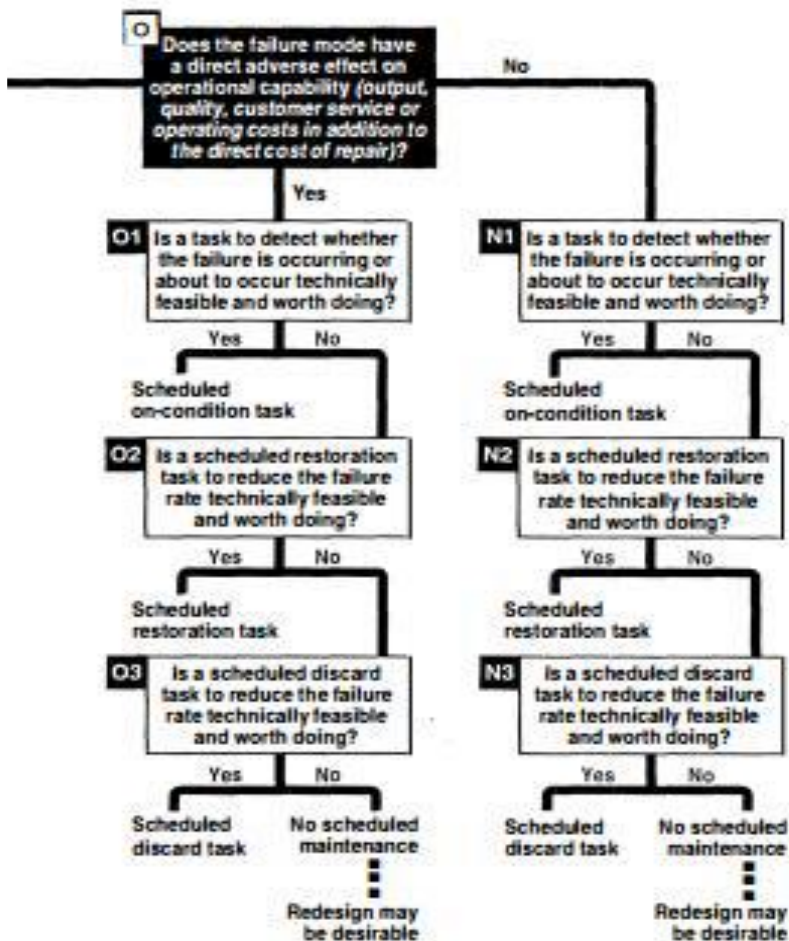
$$CT1 = 1/TI1 * Ct1 * N1$$

$$CT2 = 1/TI2 * Ct2 * N2$$

$$CT3 = 1/TI3 * Ct3 * N3$$

$$CT4 = 1/TI4 * Ct4 * N4$$

$$CT5 = 1/TI5 * Ct5 * N5$$



Gambar 3.2 Lanjutan RCM decision diagram[2]

### 3.5 Optimisasi Genetic Algorithm

Optimisasi akan dilakukan terhadap model *maintenance cost* yang dipengaruhi oleh *failure rate* dari tiap *instrumen*, dimana optimisasi ini bertujuan untuk mencari hasil dari *maintenance cost* yang paling optimal. Model *maintenance cost* akan di optimisasi menggunakan algoritma yang dapat di eksekusi pada *software* Matlab. Variabel yang akan dioptimisasi pada tugas akhir ini

adalah *failure rate* dan *time interval* dengan menggunakan algoritma GA. Setelah menentukan parameter kemudian codingan algoritma GA sedemikian rupa dituliskan dalam *software* matlab dengan variabel optimasi.

*Objective function* dari optimasi ini adalah *operational cost* (*maintenance cost*). Dikatakan optimal jika bisa mengurangi biaya seefektif mungkin yang bisa dikurangkan. Jika belum maka proses pencarian akan *me-loop* lagi hingga mencapai hasil yang optimal sampai nilai *objective function* bisa dikatakan konvergen



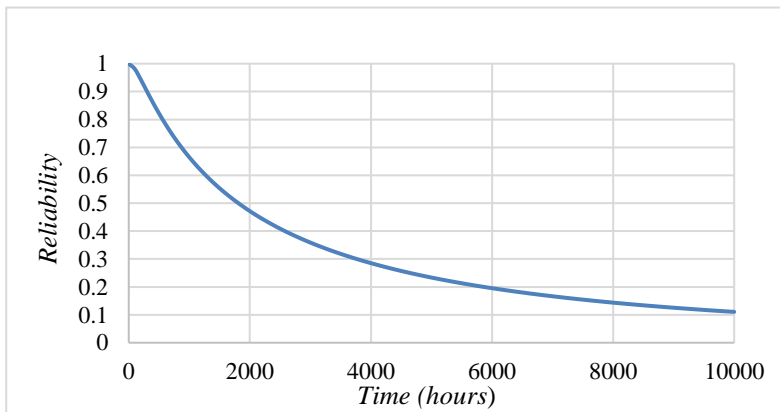
## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Analisis Kuantitatif

Analisa kuantitatif dilakukan dengan perhitungan *reliability*, *availability*, *maintainability* berdasarkan data *Maintencane Record* selama lima tahun terakhir di PLTU Jatim. Setelah didapatkan semua barulah bisa dicari *reliability* secara keseluruhan dalam sistem *boiler feed pump turbine*.

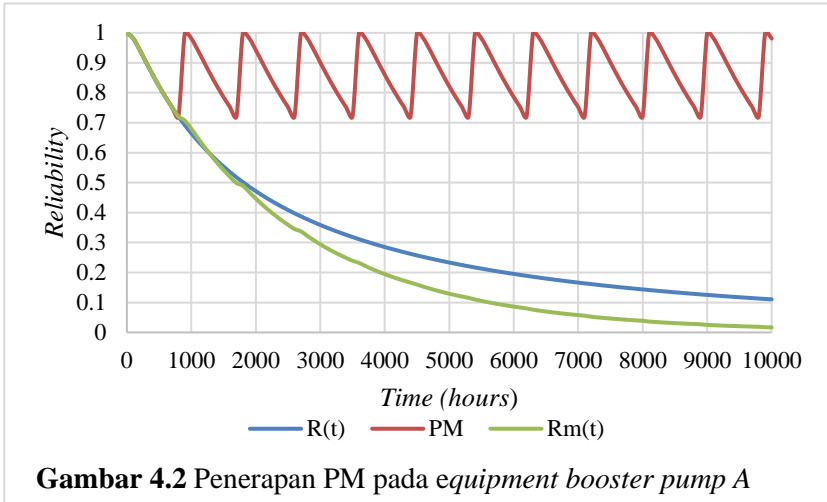
#### 4.1.1 Analisa kuantitatif pada Booster Pump A

Dari data yang diperoleh dari *maintenance record* PLTU Jatim unit 1 selama lima tahun terakhir, hasil analisa data yang diperoleh adalah sebagai berikut :



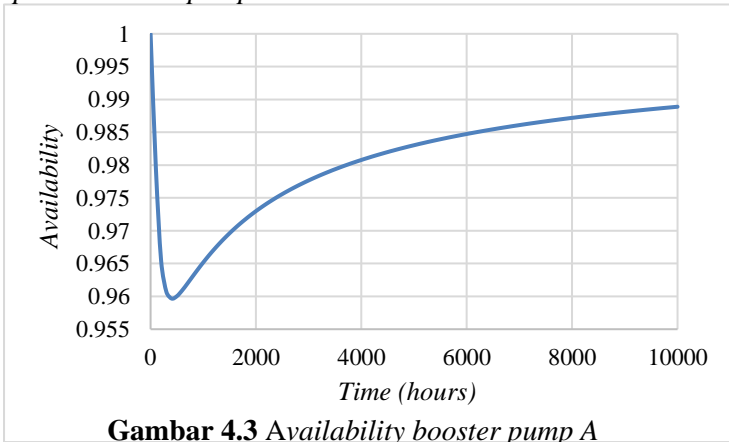
**Gambar 4.1** Reliability booster pump A

Dari gambar 4.1 menunjukkan bahwa nilai *reliability* dari *equipment booster pump A* mengalami penurunan menuju *reliability* 0,7 atau 70% setelah komponen beroperasi selama 800 jam. Ini membuktikan bahwa *reliability* dari *equipment Booster Pump A* sangat buruk. Kemudian apabila *preventive maintenance* diimplementasikan pada sistem dengan acuan standar *reliability* 0,7, maka ilustrasi hasil implementasi *preventive maintenance* yang secara kumulatif (terus-menerus) diterapkan pada *equipment booster pump A* ditunjukkan pada gambar 4.2.



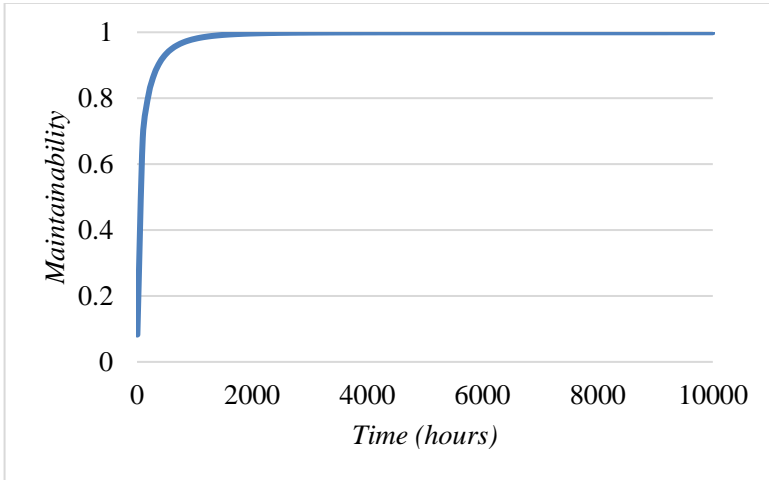
**Gambar 4.2** Penerapan PM pada *equipment booster pump A*

Berdasarkan Gambar 4.2, terbukti bahwa nilai keandalan dari *equipment booster pump A* setelah dilakukan perawatan sedikit lebih kecil daripada sebelum dilakukan perawatan yang ditunjukkan pada garis hijau  $R_m(t)$  namun malah cenderung memperburuk. Hal ini membuktikan tindakan *preventive maintenance* tidak efektif untuk meningkatkan keandalan *equipment booster pump A*.



**Gambar 4.3** Availability booster pump A

Dari gambar 4.3 *equipment booster pump A* memiliki *avaibility* yang cukup tinggi ini mengartikan bahwa tingkat ketersediaan dari *equipment Booster Pump A* sangat tinggi dengan dibuktikan nilai *avaibility* sebesar 99% pada saat  $t = 10000$  jam.

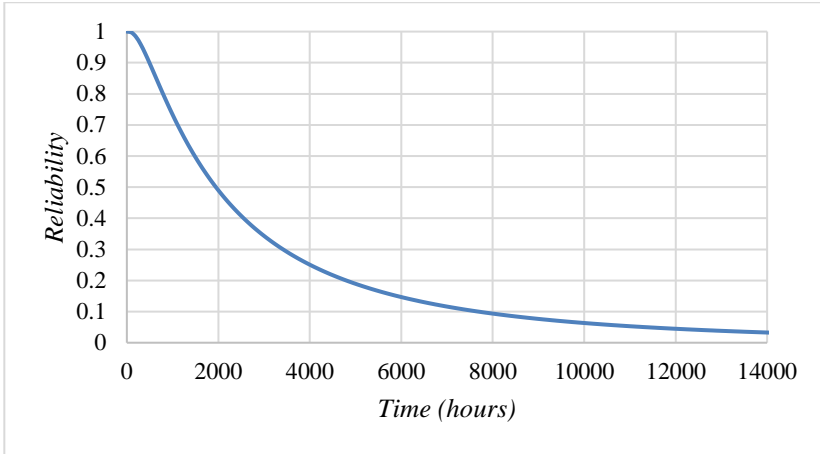


**Gambar 4.4** *Maintainability Booster Pump A*

Untuk perhitungan *maintainability* digunakan nilai MTTR sebesar 91,875 jam. Berdasarkan gambar 4.4, *equipment booster pump A* akan mencapai *maintainability* sebesar 99% saat  $t = 1400$  jam

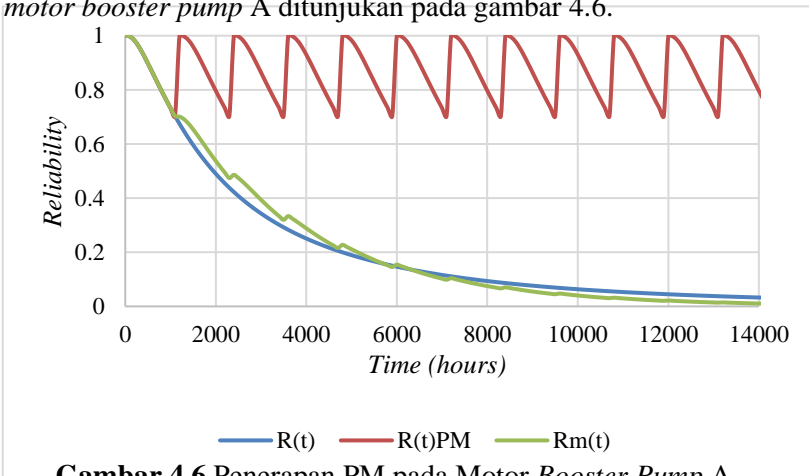
#### **4.1.2 Analisa kuantitatif pada Motor *Booster Pump A***

Dari data yang diperoleh dari *maintenance record* PLTU Jatim unit 1 selama lima tahun terakhir, hasil analisa data yang diperoleh seperti gambar 4.5. Dari gambar 4.5 menunjukkan bahwa nilai *reliability* dari *equipment motor booster pump A* mengalami penurunan menuju *reliability* 0,7 atau 70% setelah komponen beroperasi selama 1100 jam. Ini membuktikan bahwa *reliability* dari *equipment motor booster pump A* sangat buruk.



**Gambar 4.5 Reliability Motor Booster Pump A**

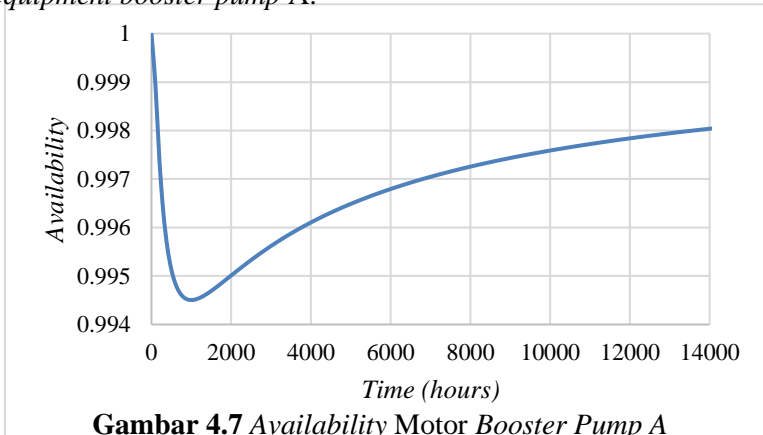
Kemudian apabila *preventive maintenance* diimplementasikan pada sistem dengan acuan standar *reliability* 0,7, maka ilustrasi hasil implementasi *preventive maintenance* yang secara kumulatif (terus-menerus) diterapkan pada *equipment motor booster pump A* ditunjukkan pada gambar 4.6.



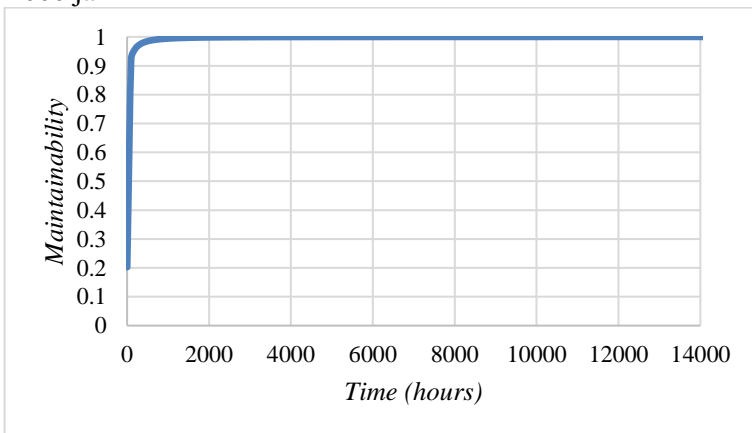
**Gambar 4.6 Penerapan PM pada Motor Booster Pump A**

Berdasarkan gambar 4.6, terbukti bahwa nilai keandalan dari *equipment motor booster pump A* setelah dilakukan perawatan sedikit lebih kecil daripada sebelum dilakukan perawatan yang

ditunjukkan pada garis hijau  $R_m(t)$  namun malah cenderung memperburuk. Hal ini membuktikan tindakan *preventive maintenance* tidak efektif untuk meningkatkan keandalan *equipment booster pump A*.



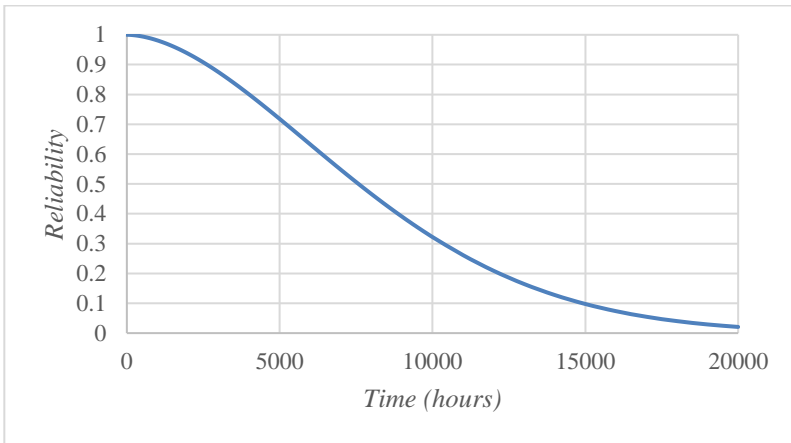
Dari gambar 4.7 *equipment Motor Booster Pump A* memiliki *availability* yang cukup tinggi ini mengartikan bahwa tingkat ketersediaan dari *equipment motor booster pump A* tinggi dengan dibuktikan nilai *availability* sebesar 99,8% pada saat  $t = 14000$  jam



Untuk perhitungan *maintainability* digunakan nilai MTTR sebesar 13,2 jam. Berdasarkan gambar 4.8, *equipment motor booster pump* akan mencapai *maintainability* sebesar 99% saat  $t = 700$  jam

#### 4.1.3 Analisa kuantitatif pada *Main Pump A*

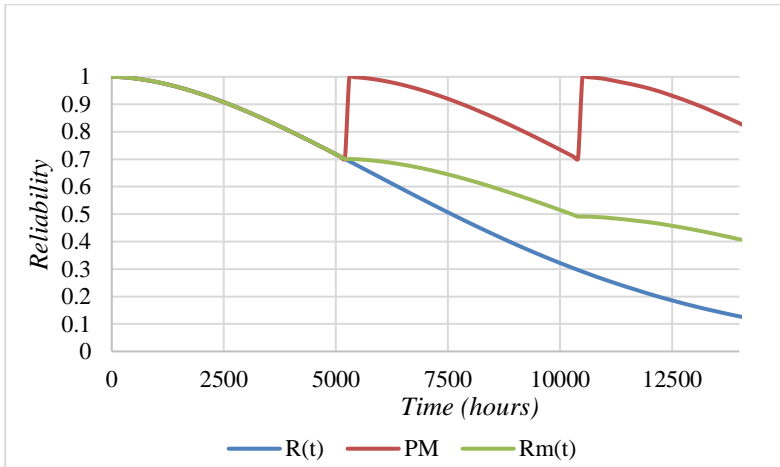
Dari data yang diperoleh dari *maintenance record* PLTU Jatim unit 1 selama lima tahun terakhir, hasil analisa data yang diperoleh adalah sebagai berikut :



**Gambar 4.9** Reliability *Main Pump A*

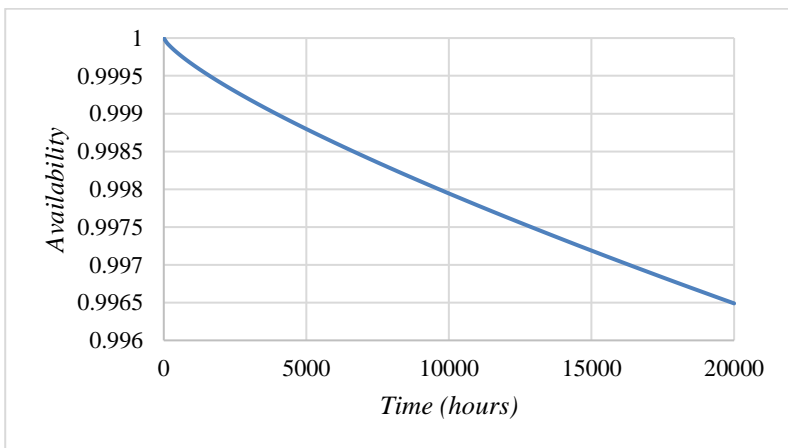
Dari gambar 4.9 menunjukkan bahwa nilai *reliability* dari *equipment main pump* mengalami penurunan menuju *reliability* 0,7 atau 70% setelah komponen beroperasi selama 5200 jam. Ini membuktikan bahwa *reliability* dari *equipment main pump A* Baik.

Kemudian apabila *preventive maintenance* diimplementasikan pada sistem dengan acuan standar *reliability* 0,7, maka ilustrasi hasil implementasi *preventive maintenance* yang secara kumulatif (terus-menerus) diterapkan pada *equipment main pump A* ditunjukkan pada gambar 4.10



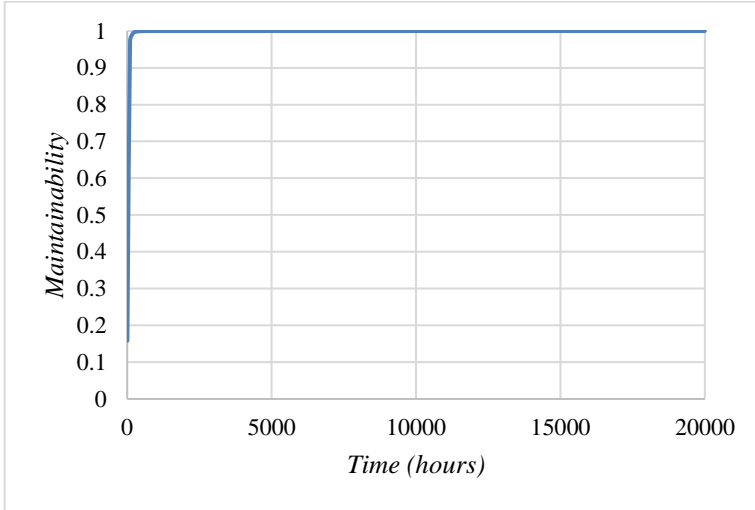
**Gambar 4.10** Penerapan PM pada *equipment Main Pump A*

Berdasarkan Gambar 4.10, terbukti bahwa nilai keandalan dari *equipment main pump A* setelah dilakukan perawatan lebih besar dan lama daripada sebelum dilakukan perawatan yang ditunjukkan pada garis hijau  $R_m(t)$ . Hal ini membuktikan tindakan *preventive maintenance* efektif untuk meningkatkan keandalan *equipment main pump A*.



**Gambar 4.11** *Availability Main Pump A*

Dari gambar 4.11 *equipment main pump A* memiliki *availability* yang cukup tinggi ini mengartikan bahwa tingkat ketersediaan dari *equipment main pump A* tinggi dengan dibuktikan nilai *availability* yang sebesar 99% pada saat  $t = 20000$  jam.



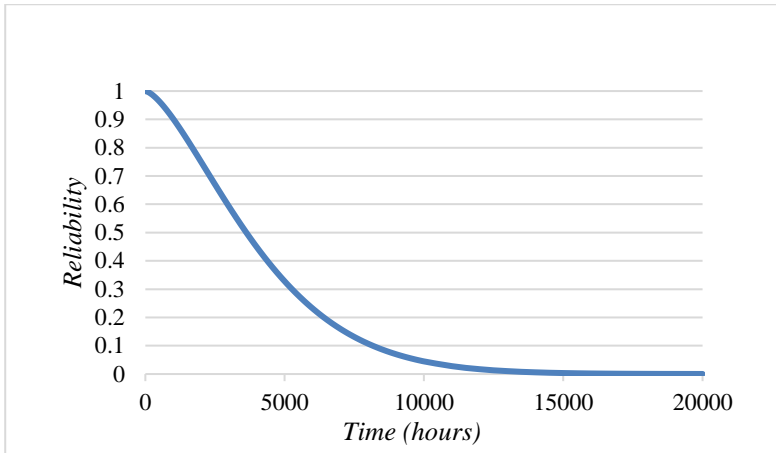
**Gambar 4.12** *Maintainability Main Pump A*

Untuk perhitungan *maintainability* digunakan nilai MTTR sebesar 10.25 jam. Berdasarkan gambar 4.12, *equipment main pump* akan mencapai *maintainability* sebesar 99% saat  $t = 200$  jam.

#### 4.1.4 Analisa kuantitatif pada BFPT A

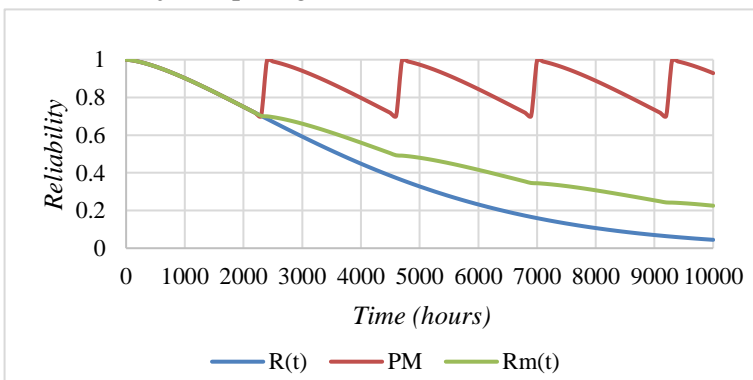
Dari data yang diperoleh dari *maintenance record* PLTU Jatim unit 1 selama lima tahun terakhir, hasil analisa data yang diperoleh terdapat pada gambar 4.13. Dari gambar 4.13 menunjukkan bahwa nilai *reliability* dari *equipment* BFPT A mengalami penurunan menuju *reliability* 0,7 atau 70% setelah komponen beroperasi selama 2300 jam. Ini membuktikan bahwa *reliability* dari *equipment* BFPT A cukup.





**Gambar 4.13** Reliability BFPT A

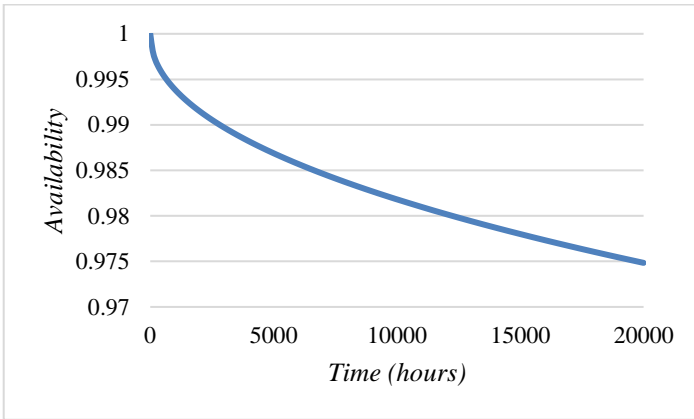
Kemudian apabila *preventive maintenance* diimplementasikan pada sistem dengan acuan standar *reliability* 0,7, maka ilustrasi hasil implementasi *preventive maintenance* yang secara kumulatif (terus-menerus) diterapkan pada *equipment BFPT A* ditunjukkan pada gambar 4.14



**Gambar 4.14** Penerapan PM pada *equipment BFPT A*

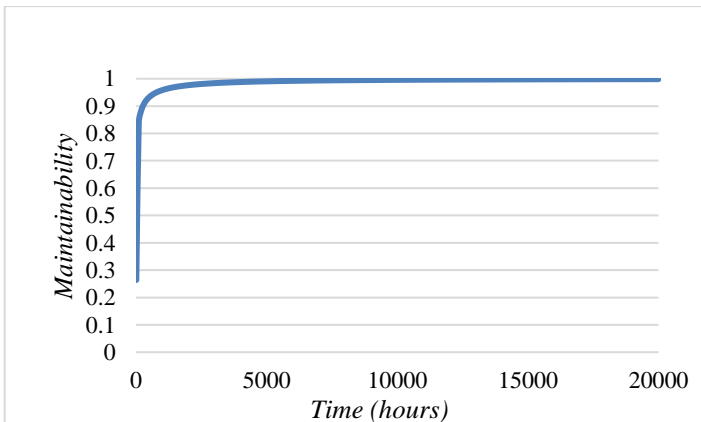
Berdasarkan Gambar 4.14, terbukti bahwa nilai keandalan dari *equipment BFPT A* setelah dilakukan perawatan lebih besar dan lama daripada sebelum dilakukan perawatan yang ditunjukkan

pada garis hijau  $R_m(t)$ . Hal ini membuktikan tindakan *preventive maintenance* efektif untuk meningkatkan keandalan *equipment* BFPT A.



**Gambar 4.15** Availability BFPT A

Dari gambar 4.15 *equipment* BFPT A memiliki *availability* yang cukup tinggi ini mengartikan bahwa tingkat ketersediaan dari *equipment* BFPT A tinggi dengan dibuktikan nilai *availability* sebesar 97.5% pada saat  $t=20.000$  jam

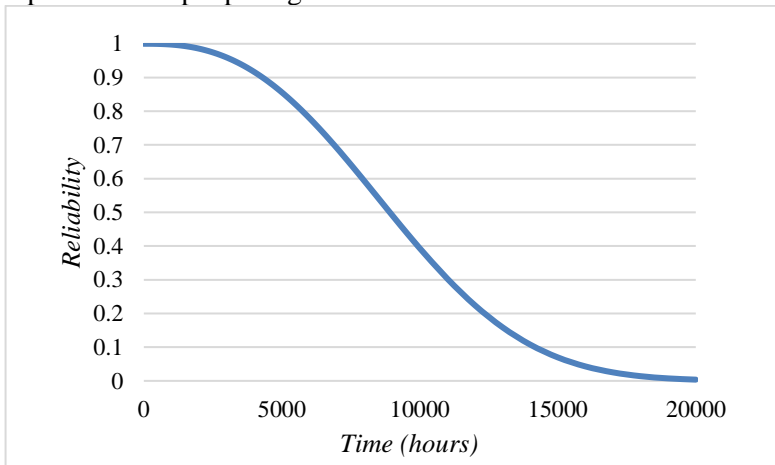


**Gambar 4.16** Maintainability BFPT A

Untuk perhitungan *maintainability* digunakan nilai MTTR sebesar 40,2857 jam. Berdasarkan gambar 4.16, equipment BFPT A akan mencapai *maintainability* sebesar 99% saat  $t = 4800$  jam.

#### 4.1.5 Analisa kuantitatif pada Cooler

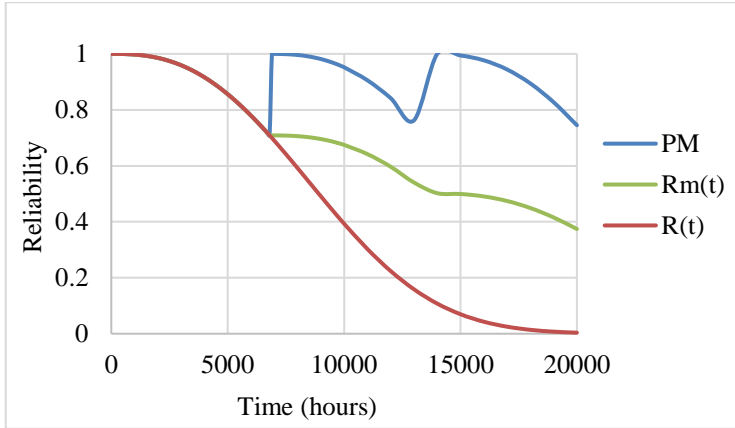
Dari data yang diperoleh dari *maintenance record* PLTU Jatim unit 1 selama lima tahun terakhir, hasil analisa data yang diperoleh terdapat pada gambar 4.17.



**Gambar 4.17** Reliability Cooler A

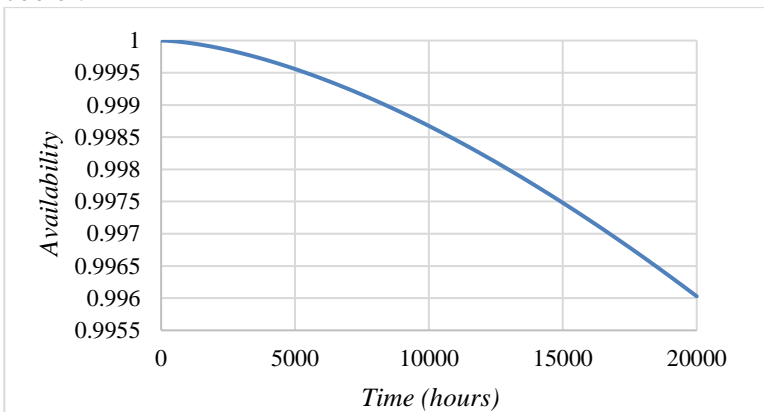
Dari gambar 4.17 menunjukkan bahwa nilai *reliability equipment cooler* mengalami penurunan menuju *reliability* 0,7 atau 70% setelah komponen beroperasi selama 6800 jam. Ini membuktikan bahwa *reliability* dari *equipment cooler* Baik.

Kemudian apabila *preventive maintenance* diimplementasikan pada sistem dengan acuan standar *reliability* 0,7, maka ilustrasi hasil implementasi *preventive maintenance* yang secara kumulatif (terus-menerus) diterapkan pada *equipment cooler* ditunjukkan pada gambar 4.18



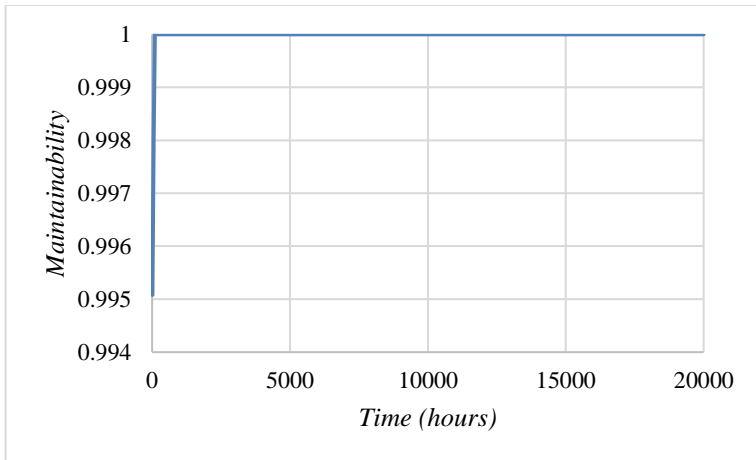
**Gambar 4.18** Penerapan PM pada *equipment cooler A*

Berdasarkan Gambar 4.18, terbukti bahwa nilai keandalan dari *equipment cooler* setelah dilakukan perawatan lebih besar dan lama daripada sebelum dilakukan perawatan yang ditunjukkan pada garis hijau  $R_m(t)$ . Hal ini membuktikan tindakan *preventive maintenance* efektif untuk meningkatkan keandalan *equipment cooler*.



**Gambar 4.19** *Availability Cooler A*

Dari gambar 4.19 *equipment cooler A* memiliki *availability* yang cukup tinggi ini mengartikan bahwa tingkat ketersediaan dari *equipment cooler* tinggi dengan dibuktikan nilai *availability* sebesar 99,6% pada saat  $t = 20000$  jam



**Gambar 4.20** Maintainability Cooler A

Untuk perhitungan *maintainability* digunakan nilai MTTR sebesar 5.5 jam. Berdasarkan gambar 4.20, *equipment cooler* akan mencapai *maintainability* sebesar 99% saat  $t = 11$  jam

#### 4.1.6 Analisa kuantitatif pada Sistem *Boiler Feed Pump Turbine*

Analisa kuantitatif keseluruhan sistem *boiler feedwater* menggunakan rangkaian seri dikarenakan susunan dari setiap sistem saling mempengaruhi dan tersusun secara seri dalam satu line PFD. Berikut adalah gambar dari *reliability block diagram* dari sistem *boiler feed pump turbine*. Dengan menggunakan hasil lamda yang telah didapatkan maka *reliability* total dari sistem *boiler feedwater* bisa dihitung dengan persamaan (2.25) dikarenakan susunan dari *boiler feedwater pump turbine* seri, *reliability* pada saat  $t = 800$  jam didapatkan sebagai berikut :

- Untuk sistem *boiler feedwater pump turbine* tanpa PM
  - R1 = 0,720791
  - R2 = 0,79686
  - R3 = 0,987243
  - R4 = 0,928446
  - R5 = 0,998643

$$\begin{aligned} R_{\text{total}} &= R_1 \times R_2 \times R_3 \times R_4 \times R_5 \\ &= 0,525754 \end{aligned}$$

- Untuk sistem *boiler feedwater pump turbine* dengan PM

$$R_1 = 0,720791$$

$$R_2 = 0,79686$$

$$R_3 = 0,987243$$

$$R_4 = 0,928446$$

$$R_5 = 0,998643$$

$$\begin{aligned} R_{\text{total}} &= R_1 \times R_2 \times R_3 \times R_4 \times R_5 \\ &= 0,525754 \end{aligned}$$

Dari hasil di atas dapat disimpulkan bahwa *reliability* dari sistem *boiler feedwater pump turbine* pada PLTU Jatim sama ketika sistem tidak mendapatkan *preventive maintenance* dan mendapatkan *preventive maintenance* dengan standar persistem  $R=0,7$  saat  $t= 800$  jam. Hal ini juga mengartikan bahwa *reliability* sistem *boiler feedwater pump turbine* digaransi berjalan dengan baik sampai  $t = 800$  jam dengan standar yakni 0,526.

## 4.2 Analisis Kualitatif

Pada penelitian tugas akhir ini, evaluasi kualitatif dilakukan pada setiap *equipment* penyusun sistem *boiler feed pump turbine* adalah berupa penjelasan fungsi (*system function*) kemudian diikuti dengan hasil pengolahan data yang disajikan dalam bentuk FMEA dan tabel *decision worksheet*. Evaluasi kualitatif ini sebagai data pendukung bagaimana pengambilan tindakan saat perawatan dan didapatkan melalui hasil wawancara dengan karyawan bagian kontrol dan instrumen di PLTU Jatim.

Berdasarkan hasil pengamatan dan wawancara di lapangan, diperoleh pembahasan dari beberapa hasil rekomendasi *maintenance strategy*. *Maintenance strategy* bertujuan untuk menentukan langkah-langkah yang harus dilakukan saat melakukan *maintenance*. Dalam tabel 4.1, didapatkan *function and functional failure rate* pada setiap *equipment* di sistem *boiler feed pump turbine*.

Selanjutnya, dari kegagalan fungsi tersebut diperoleh kemungkinan-kemungkinan modus kegagalan dan efek yang

ditimbulkan jika modus kegagalan benar-benar sampai terjadi (FMEA). Berikut merupakan beberapa kemungkinan modus kegagalan pada *booster pump*. Hasil FMEA pada setiap *equipment* di sistem *boiler feed pump turbine* dapat dilihat pada tabel 4.2.

Berdasarkan kegagalan-kegagalan yang telah dijabarkan yang terjadi pada *equipment booster pump* tersebut, tindakan yang dapat direkomendasikan dirumuskan pada tabel *decision worksheet* yang ditunjukkan pada Tabel 4.3 mengenai *maintenance strategy* pada sistem *boiler feed pump turbine*. Sehingga hal ini memperkuat jika sistem ini kurang efektif dengan tindakan *preventive maintenance*.

**Tabel 4.1** *Function and Functional Failure Booster Pump*

No	<i>Equipment</i>	<i>Function</i>	<i>Functional Failure</i>
1	<i>Booster Pump</i>	Untuk menaikkan tekanan awal	Tidak dapat menaikkan tekanan awal sesuai set point
2	<i>Motor Booster Pump</i>	Untuk memutar Booster Pump	Tidak dapat memutar pompa sesuai set point
3	<i>Main Pump</i>	Untuk menaikkan tekanan menuju boiler	Tidak dapat menaikkan tekanan sesuai set point
4	BFPT A	Untuk memutar Main Pump	Tidak dapat memutar pompa utama sesuai set point
5	<i>Cooler</i>	Untuk mendinginkan Main Pump dan BFPT	Tidak dapat menurunkan suhu pada pompa utama dan BFPT sesuai set point

**Tabel 4. 2** Beberapa hasil FMEA sistem *Boiler Feed Pump Turbine*

<i>Equipment</i>	<i>Function</i>	<i>Funtional Failure</i>	<i>Failure Mode</i>	<i>Failure Effect</i>
<i>Booster Pump</i>	Untuk menaikkan tekanan awal	Tidak dapat menaikkan tekanan awal sesuai set point	Putaran motor kurang	Jika tekanan awal tidak sesuai, proses produksi akan berkurang dan menambah durasi pemanasan pada boiler
			Motor berputar tidak sesuai standar	Jika tekanan awal tidak sesuai, proses produksi akan berkurang dan menambah durasi pemanasan pada boiler
<i>Motor Booster Pump</i>	Untuk memutar <i>Booster Pump</i>	Tidak dapat memutar pompa sesuai <i>set point</i>	<i>Bearing</i> aus	Jika tidak dapat memutar pompa sesuai set point, pompa tidak bisa menaikkan tekanan sesuai <i>setpoint</i>
			Berputar tidak sesuai poros	Jika tidak dapat memutar pompa sesuai <i>set point</i> , pompa tidak bisa menaikkan tekanan sesuai <i>setpoint</i>
<i>Main Pump</i>	Untuk menaikkan tekanan menuju boiler	Tidak dapat menaikkan tekanan sesuai <i>set point</i>	Putaran motor kurang	Jika tekanan tidak sesuai <i>setpoint</i> , proses produksi akan berkurang dan menambah durasi pemanasan pada boiler



**Tabel 4. 3** Beberapa hasil FMEA sistem *Boiler Feed Pump Turbine* (Lanjutan)

<i>Equipment</i>	<i>Function</i>	<i>Funtional Failure</i>	<i>Failure Mode</i>	<i>Failure Effect</i>
<i>Main Pump</i>	Untuk menaikkan tekanan menuju boiler	Tidak dapat menaikkan tekanan sesuai <i>set point</i>	Motor berputar tidak sesuai standar	Jika tekanan tidak sesuai, proses produksi akan berkurang dan menambah durasi pemanasan pada boiler
BFPT A	Untuk memutar <i>Main Pump</i>	Tidak dapat memutar pompa utama sesuai <i>set point</i>	Sudu turbine rusak	Jika tidak dapat memutar pompa utama sesuai <i>set point</i> , pompa tidak bisa menaikkan tekanan sesuai <i>setpoint</i>
			Berputar tidak sesuai poros	Jika tidak dapat memutar pompa utama sesuai <i>set point</i> , pompa tidak bisa menaikkan tekanan sesuai <i>setpoint</i>
<i>Cooler</i>	Untuk mendinginkan <i>Main Pump</i> dan BFPT	Tidak dapat menurunkan suhu pada pompa utama dan BFPT sesuai <i>set point</i>	Pipa oli tersumbat	Jika oli tidak bisa teralirkan, pompa akan <i>overheat</i> dan <i>plant</i> akan <i>shutdown</i>
			Oli kotor	Jika oli tidak bisa teralirkan, pompa akan <i>overheat</i> dan <i>plant</i> akan <i>shutdown</i>

**Tabel 4.4** Penentuan *Maintenance Strategy* sistem *Boiler Feed Pump Turbine*

<i>Booster Pump</i>													
No	Failure Mode	H	S	E	O	1	2	3	H4	H5	S4	<i>Recommended Strategy</i>	
1	Putaran motor kurang	Y	N	N	Y	N	Y					<i>Do the restoration task</i>	
2	Motor berputar tidak sesuai standar	Y	N	N	Y	Y						<i>Do the restoration task</i>	
<i>Motor Booster Pump</i>													
No	Failure Mode	H	S	E	O	1	2	3	H4	H5	S4	<i>Recommended Strategy</i>	
1	Bearing aus	Y	N	N	Y	Y						<i>Do the restoration task</i>	
2	Berputar tidak sesuai poros	Y	N	N	Y	N	Y					<i>Do the restoration task</i>	
<i>Main Pump</i>													
No	Failure Mode	H	S	E	O	1	2	3	H4	H5	S4	<i>Recommended Strategy</i>	
1	Putaran motor kurang	Y	N	N	Y	N	Y					<i>Do the restoration task</i>	
2	Motor berputar tidak sesuai standar	Y	N	N	Y	Y						<i>Do the restoration task</i>	
<i>BFPT A</i>													
No	Failure Mode	H	S	E	O	1	2	3	H4	H5	S4	<i>Recommended Strategy</i>	
1	Bearing aus	Y	N	N	Y	Y						<i>Do the restoration task</i>	
2	Berputar tidak sesuai poros	Y	N	N	Y	N	Y					<i>Do the restoration task</i>	
<i>Cooler</i>													
No	Failure Mode	H	S	E	O	1	2	3	H4	H5	S4	<i>Recommended Strategy</i>	
1	Pipa oli tersumbat	Y	N	N	Y	Y						<i>Do the scheduled on-condition task</i>	
2	Oli kotor	Y	N	N	Y	Y						<i>Do the scheduled on-condition task</i>	

### 4.3 Perhitungan Biaya Operasional

Biaya operasional dihitung dengan persamaan (2.22) sampai (2.25). Berikut merupakan perhitungan dari sistem *Boiler Feed Pump Turbine*.

#### a. Biaya *Preventive Maintenance*

Biaya perawatan terdiri dari biaya tenaga kerja (upah lembur) dan treatment *cost* misalnya untuk minyak pelumas, dan penggantian komponen kecil seperti sekrup, mur, dan baut. Kegiatan perawatan pencegahan dilakukan diluar jam operasi. Karena perawatan pencegahan dilakukan diluar jam kerja normal maka biaya tenaga perawatan menjadi upah lembur . Upah lembur didapatkan dari gaji teknisi menurut INKINDO dibagi dengan jumlah jam kerja selama satu bulan. Untuk jumlah pekerja ketika *preventive maintenance* didapatkan dari hasil wawancara dengan bagian *maintenance* PLTU Jatim. Perhitungannya sebagai berikut:

Gaji teknisi INKINDO = Rp. 9.416.000

Jam kerja selama 1 bulan = 154 jam

Jumlah pekerja = 2 orang

Frekuensi *Maintenance* selama 5 tahun (M)

Jumlah komponen (N)

**Tabel 4.5** *Biaya Preventive Maintenance (CPM)*

No.	Komponen	Biaya pekerja / jam	Waktu	Cpm	M	N	CPM
1	<i>Motor Booster Pump</i>	\$4.25	13.2	\$112.20	39	1	\$ 4,375.80
2	<i>Booster Pump</i>	\$4.25	91.875	\$780.94	54	1	\$ 42,170.63
3	<i>Main Pump</i>	\$4.25	10.25	\$87.13	8	1	\$ 697.00
4	<i>BFPT</i>	\$4.25	40.286	\$342.43	19	1	\$ 6,506.14
5	<i>Cooler BFPT</i>	\$4.25	5.5	\$46.75	6	1	\$ 280.50
Total							\$ 54,030.07

b. *Biaya Corrective Maintenance (CCM)*

*Biaya corrective maintenance* adalah biaya yang dibutuhkan untuk memperbaiki sebuah komponen jika terdapat sebuah kerusakan. Seperti yang dijelaskan bab sebelumnya variabel yang mempengaruhi biaya *corrective maintenance* ialah lamda sedangkan untuk biaya *corrective maintenance* telah didapatkan melalui jurnal sehingga perhitungan biaya *corrective maintenance*.

**Tabel 4.6** *Biaya Corrective Maintenance*

No	Komponen	MTTR	Harga	Ccm	$\lambda T/\text{jam}$	CCM
1	<i>Motor Booster Pump</i>	13.2	\$2,200	\$682	0.0004	\$11,948.64
2	<i>Booster Pump</i>	91.875	\$8,650	\$4,280.5	0.0004176	\$78,288.49
3	<i>Main Pump</i>	10.25	\$10,000	\$1,110	0.00012	\$5,834.16
4	<i>BFPT</i>	40.2857	\$5,250	\$1,978.9	0.00022751	\$19,719.72
5	<i>Cooler BFPT</i>	5.5	\$1,200	\$304.	0.0001	\$1,331.52
Total						\$117,122.53

c. *Biaya Test Maintenance*

*Test maintenance* merupakan sebuah tindakan untuk memastikan apakah sebuah instrumen masih bekerja pada performa yang diinginkan. Pada perhitungan kali ini digunakan referensi dari jurnal sehingga perhitungannya selama 5 tahun.

**Tabel 4.7** *Biaya Test Maintenance*

No	Komponen	T	Ct	CT
1	Motor Booster Pump	43800	\$ 40	\$ 0.000913
2	Booster Pump	43800	\$ 100	\$ 0.002283
3	Main Pump	43800	\$ 110	\$ 0.002511
4	BFPT	43800	\$ 120	\$ 0.002740
5	Cooler BFPT	43800	\$ 60	\$ 0.001370
Total				\$ 0.009817

d. *Biaya Maintenance*

Pembiayaan total untuk *maintenance* sistem *Boiler Feed Pump Turbine* dalam 5 tahun adalah penggabungan dari biaya *corrective*, *preventive* serta *Test cost* sehingga didapatkan biaya *maintenance cost* sebesar :

**Tabel 4.8** *Biaya Maintenance*

No	Komponen	CPM	CCM	CT	Ctotal
1	<i>Motor Booster Pump</i>	\$4,375.8	\$11,948.6 4	\$0.000913	\$16,324.44
2	<i>Booster Pump</i>	\$42,170.6	\$78,288.4 9	\$0.002283	\$120,459.12
3	<i>Main Pump</i>	\$697	\$5,834.16	\$0.002511	\$6,531.16
4	<i>BFPT</i>	\$6,506.14	\$19,719.7	\$0.002740	\$26,225.86
5	<i>Cooler BFPT</i>	\$280.5	\$1,331.52	\$0.001370	\$1,612.02
Total					\$171,152.61

#### 4.4 Analisis Hasil Optimisasi

Optimisasi *maintenance cost* direpresentasikan melalui perhitungan beberapa jenis *maintenance*, antarlain *corrective maintenance (CCM)*, *preventive maintenance (CPM)* dan *cost test (CT)*. Adapun variabel yang dioptimisasi merupakan *time interval (Ti)* dan *failure rate* yang nilainya diperoleh dari perhitungan rumus biaya *preventive maintenance*, tes *maintenance*, serta *corrective maintenance*. Berdasarkan standar perusahaan, perlakuan *maintenance* diperlukan pada setiap equipment yang memiliki nilai *reliability* minimal 0,7. Dalam hal ini optimisasi dilakukan dengan tujuan mencari nilai *Time interval* optimum dan *failure rate* minimum. Fungsi objektif pada optimisasi ini adalah *maintenance cost (COP)*. *Time frame* yang dilihat pada tugas akhir ini berjalan selama lima tahun untuk tiap equipmentnya.

**Tabel 4.9** Hasil Optimisasi Ti dan *Failure Rate*

No	Komponen	Ti	<i>Failure Rate</i>
1	<i>Motor Booster Pump</i>	306.7999008	0.00013767
2	<i>Booster Pump</i>	734.7488096	1.17E-05
3	<i>Main Pump</i>	5009.636501	9.13E-05
4	<i>BFPT</i>	2012.249809	8.71E-05
5	<i>Cooler BFPT</i>	3448.828776	9.69E-05

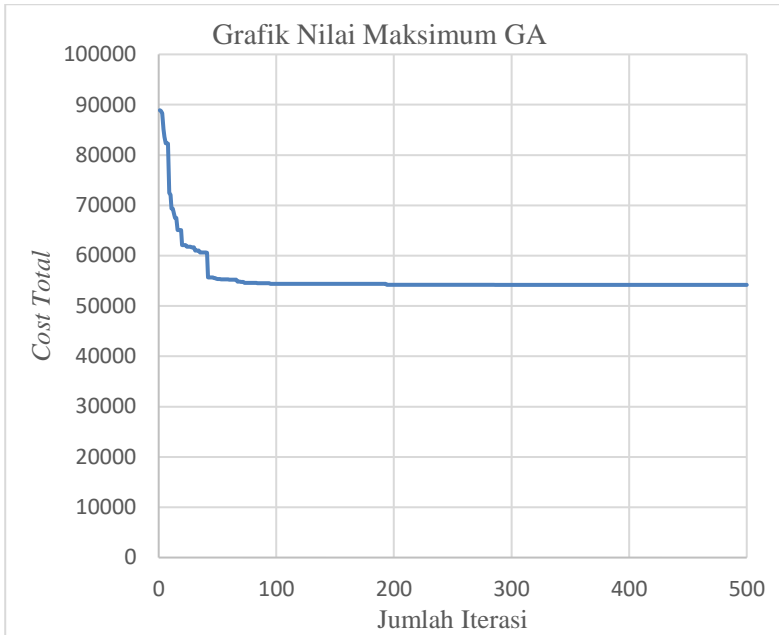
**Tabel 4. 10** Perbandingan Nilai Ti Sebelum dan Sesudah Optimisasi

No	Komponen	Sebelum	Sesudah
1	<i>Motor Booster Pump</i>	1100	306.7999008
2	<i>Booster Pump</i>	800	734.7488096
3	<i>Main Pump</i>	5200	5009.636501
4	<i>BFPT</i>	2300	2012.249809
5	<i>Cooler BFPT</i>	6800	3448.828776

**Tabel 4. 11** Perbandingan *Failure Rate* Sebelum dan Sesudah Optimisasi

No	Komponen	Sebelum	Sesudah
1	<i>Motor Booster Pump</i>	0.0004	0.00013767
2	<i>Booster Pump</i>	0.00041757	1.17E-05
3	<i>Main Pump</i>	0.00012119	9.13E-05
4	<i>BFPT</i>	0.000227508	8.71E-05
5	<i>Cooler BFPT</i>	0.0001	9.69E-05

Berdasarkan hasil optimisasi yang dilakukan, maka diperoleh grafik seperti gambar 4.21. Diperoleh nilai optimisasi *maintenance cost* total sebesar USD 54192.78.



**Gambar 4.21** Grafik Optimisasi *Maintenance Cost*

Adapun perbandingan *maintenance cost* total pada sistem *boiler feed pump turbine* dapat dilihat pada tabel 4.21.

**Tabel 4.12** Perbandingan *maintenance cost*

	Unit	Nilai
<i>Maintenance cost</i> sebelum optimisasi	\$/5 Year	\$ 171,152.61
<i>Maintenance cost</i> sesudah optimisasi	\$/5 Year	\$ 54192.78
Selisih		\$ 116959,83

Dari tabel 4.20 optimisasi *failure rate* dan *time interval* pada sistem *boiler feed pump turbine* bahwa optimisasi dapat menghemat *maintenance cost* sebesar 116959,83 USD selama 5 tahun. Hal ini dikarenakan optimisasi terhadap *failure rate* dan *time interval* mengakibatkan *maintenance* pada tiap instrumen dan

equipment memiliki *maintenance* yang efektif tidak melanggar standar reliability perusahaan dalam kurun waktu 5 tahun.



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang didapatkan dari Tugas Akhir ini adalah :

- *Reliability* sistem *Boiler feedwater* saat  $t = 800$  jam di PLTU Jatim mempunyai nilai 0,526. Untuk equipment *booster pump* memiliki *availability* sebesar 99% pada  $t = 10000$  jam dan *maintainability* sebesar 99% pada  $t = 1400$  jam. Untuk equipment *motor booster pump* memiliki *availability* sebesar 99.8% pada  $t = 14000$  jam dan *maintainability* sebesar 99% pada  $t = 700$  jam. Untuk equipment *main pump* memiliki *availability* sebesar 99% pada  $t = 20000$  jam dan *maintainability* sebesar 99% pada  $t = 200$  jam. Untuk equipment BFPT memiliki *availability* sebesar 97.5% pada  $t = 20000$  jam dan *maintainability* sebesar 99% pada  $t = 4800$  jam. Untuk equipment Cooler memiliki *availability* sebesar 99.6% pada  $t = 20000$  jam dan *maintainability* sebesar 99% pada  $t = 11$  jam
- Algoritma GA terbukti mengoptimalkan biaya *maintenance* dari PLTU Jatim dengan selisih biaya setelah optimasi \$116959,83 dengan perhitungan selama lima tahun.

#### 5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya sebagai berikut.

- Mencari perusahaan dengan data *historical maintenance* yang lengkap jika ingin melakukan penelitian yang serupa agar hasil lebih akurat
- Untuk harga setiap komponen diharapkan mencari referensi yang lebih banyak lagi agar hasil pembiayaan *maintenance* bisa lebih baik.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Vileiniskis, R. Remenyte-Prescott, D. Rama, and J. Andrews, *Fault detection and diagnostics of a three-phase separator*, vol. 41. Elsevier Ltd, 2016.
- [2] J. Moubray, *Reliability Centred Maintenance*. 1997.
- [3] J. Moubray, *Reliability-Centered Maintenance Second Edition*. 2001.
- [4] M. Rausand, *Reliability Centered Maintenance*. 1998.
- [5] I. H. Afefy, “Reliability-Centered Maintenance Methodology and Application: A Case Study,” *Engineering*, vol. 02, no. 11, pp. 863–873, 2010.
- [6] A. J. J. Braaksma, W. Klingenberg, and J. Veldman, “Failure mode and effect analysis in asset maintenance: A multiple case study in the process industry,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 51, no. 4, pp. 1055–1071, 2013.
- [7] K. Deep, “Reliability Optimization of Complex Systems through C-,” no. February 2014, pp. 28–30, 2017.
- [8] H. Lee and J. H. Cha, “New stochastic models for preventive maintenance and maintenance optimization,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 255, no. 1, pp. 80–90, 2016.
- [9] S. Sabban, “Access to Electronic Thesis,” 2010.
- [10] C. E. Ebeling, *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. McGraw-Hill, 1997.
- [11] B. S. Dhillon, *Reliability, Quality and Safety for Engineers*. CRC Press, 2005.
- [12] A. C. Torres-Echeverría, S. Martorell, and H. A. Thompson, “Design optimization of a safety-instrumented system based on RAMS+C addressing IEC 61508 requirements and diverse redundancy,” *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, vol. 94, no. 2, pp. 162–179, 2009.
- [13] “Genetic Algorithm.” [Online]. Available: <https://www.mathworks.com/discovery/genetic-algorithm.html>. [Accessed: 30-Jan-2019].
- [14] T. R. Biyanto, M. Ramasamy, A. B. Jameran, and H. Y. Fibrianto, “Thermal and hydraulic impacts consideration in refinery crude preheat train cleaning scheduling using

- recent stochastic optimization methods,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 108, no. June 2016, pp. 1436–1450, 2016.
- [15] E. Tietze-Conrat, “Eine Gruppe Soldanis im Albertinum in Dresden,” *Zeitschrift für Bild. Kunst*, vol. 32, no. 1, pp. 113–114, 1921.
- [16] M. Sallak, C. Simon, and J.-F. Aubry, “Optimal design of Safety Instrumented Systems: a graph reliability approach,” *7ème Congrès Int. Pluridiscip. Qual. Sûreté Fonct. Qual. 2007*, no. March, pp. 255–262, 2007.

## LAMPIRAN

Fungsi objektif pada matlab

```
function y=nyoba(x)
```

```
TI1=x(1);  
TI2=x(2);  
TI3=x(3);  
TI4=x(4);  
TI5=x(5);  
FR1=x(6);  
FR2=x(7);  
FR3=x(8);  
FR4=x(9);  
FR5=x(10);
```

```
%Ccm komponen;
```

```
Ccm1=682;  
Ccm2=4280.5;  
Ccm3=1110;  
Ccm4=1978.93;  
Ccm5=304;
```

```
%Cpm komponen;
```

```
Cpm1=112.2;  
Cpm2=780.94;  
Cpm3=87.13;  
Cpm4=342.43;  
Cpm5=46.75;
```

```
%Ct komponen;
```

```
Ct1=40;  
Ct2=100;  
Ct3=110;  
Ct4=120;  
Ct5=60;
```

```
% Jumlah Komponen
```

```
N1=1;
```

```
N2=1;  
N3=1;  
N4=1;  
N5=1;
```

```
% Perhitungan Corrective Maintenance Komponen
```

```
CCM1=FR1*Ccm1*N1*43800;  
CCM2=FR2*Ccm2*N2*43800;  
CCM3=FR3*Ccm3*N3*43800;  
CCM4=FR4*Ccm4*N4*43800;  
CCM5=FR5*Ccm5*N5*43800;
```

```
m1=43800/TI1;  
m2=43800/TI2;  
m3=43800/TI3;  
m4=43800/TI4;  
m5=43800/TI5;  
M1=fix(m1);  
M2=fix(m2);  
M3=fix(m3);  
M4=fix(m4);  
M5=fix(m5);
```

```
% Perhitungan Predictive Maintenance Komponen
```

```
CPM1=Cpm1*N1*M1;  
CPM2=Cpm2*N2*M2;  
CPM3=Cpm3*N3*M3;  
CPM4=Cpm4*N4*M4;  
CPM5=Cpm5*N5*M5;
```

```
% Perhitungan Cost Test Komponen
```

```
CT1=1/TI1*Ct1*N1;  
CT2=1/TI2*Ct2*N2;  
CT3=1/TI3*Ct3*N3;  
CT4=1/TI4*Ct4*N4;  
CT5=1/TI5*Ct5*N5;
```

```
% Perhitungan Maintenance Cost Komponen
```

```
COP1=CCM1+CPM1+CT1;
```

```

COP2=CCM2+CPM2+CT2;
COP3=CCM3+CPM3+CT3;
COP4=CCM4+CPM4+CT4;
COP5=CCM5+CPM5+CT5;

```

```

% Perhitungan Maintenance Cost Sistem
y=- (COP1+COP2+COP3+COP4+COP5);
%y=1/y;

```

## Kodingan GA

```

clear all

%Pembangkitan Populasi dan Parameter
Npop      = 100;           %populasi
Maxit     = 500;           %iterasi
el        = 0.05;         %elatism
Pc        = 0.8;
%probabilitas crossover
Pm        = 0.01;
%probabilitas mutasi
Nvar      = 10;           %jumlah
variabel desain yang dioptimasi
Nbit      = 20;           %jumlah bit
%Constrain

ra        = [1 1 1 1 1 0.000417769 0.000417572
0.000121194 0.000227508 0.000130937];
%batas bawah cari constraint x4 x5 DICARI!!!!
rb        = [1100 800 5200 2300 6800 5.18343E-12
5.58609E-11 2.71499E-08 1.85797E-06 2.82338E-
12];           %batas atas cari constraint x4 x5
DICARI!!!!

eBangkit  = [];
Individu  = [];
eIndividu = [];
david     = [];

```

```

Dadatfit      = [];
Datfit        = [];
summary       = [];
eDadatfit     = [];
efitnessmax   = [];
eIndividuMax  = [];

Bangkit = round(rand(Npop,Nbit*Nvar));
popsize = size(Bangkit,1);

for i = 1:Nvar
    batas(i) = ra(i)-rb(i);
end
for i =1:Npop
    for j = 1:Nvar
        Desimal(i,j) =
bi2de(Bangkit(i, ((j*Nbit)-(Nbit-
1)): (j*Nbit)), 'left-msb');
        Individu(i,j) =
(Desimal(i,j)*batas(:,j)-
batas(:,j)+rb(:,j)*(2^Nbit-1))/(2^Nbit-1);
    end
end

Datfit = [];
variabel = [];
for i = 1:size(Individu,1)
    fitness = nyoba(Individu(i,:));
    Datfit = [Datfit;fitness];
    [fitemax,nmax]=max(Datfit);
end

Dadatfit = [];
for generasi=1:Maxit
    disp('GA processing')
    clear command windows
    clear command history
    clear memory

    if generasi > 1
        sort_fit = sortrows(sort,Nbit*Nvar+1);
    end
end

```



```

        Individu1 = sort_fit(round((1-
el)*Npop+1):Npop,:);
        remain =
sort_fit(round(el*Npop)+1:Npop,:);

X = Individu1;
M = size(X,1);

sumfitness = sum(Datfit);
for i=1:M
    Prob(i) = Datfit(i)/sumfitness;
end
for i=2:M
    Prob(i) = Prob(i)+Prob(i-1);
end
for i=1:M
    n=rand;
    k=1;
    for j=1:M-1
        if (n>Prob(j))
            k=j+1;
        end
    end
    Xparents(i,:) = X(k,:);
end

%Crossover
[M,d] = size(Xparents);
Xcrossed = Xparents;
for i=1:2:M-1
    c=rand;
    if (c<=Pc)
        p=ceil((d-1)*rand);
        Xcrossed(i,:) = [Xparents(i,1:p)
Xparents(i+1,p+1:d)];
        Xcrossed(i+1,:) =
[Xparents(i+1,1:p) Xparents(i,p+1:d)];
    end
end
if (M/2~=floor(M/2))
    c=rand;

```

```

        if (c<=Pc)
            p=ceil((d-1)*rand);
            str=ceil((M-1)*rand);
            Xcrossed(M,:) = [Xparents(M,1:p)
Xparents(str,p+1:d)]; %the first child is chosen
        end
    end

%Mutasi
[M,d] = size(Xcrossed);
Xnew=Xcrossed;
for i=1:M
    for j=1:d
        p=rand;
        if (p<=Pm)
            Xnew(i,j)=1-Xcrossed(i,j);
        end
    end
end

disp('New fitness calculation');

Bangkit =
[Xnew(:,1:Nbit*Nvar);remain(:,1:Nbit*Nvar)];
end
eBangkit = [eBangkit; Bangkit];

for i =1:Npop
    for j = 1:Nvar;
        Desimal(i,j) =
bi2de(Bangkit(i,((j*Nbit)-(Nbit-
1)):j*Nbit)), 'left-msb');
        Individu(i,j) =
(Desimal(i,j)*batas(:,j)-
batas(:,j)+rb(:,j)*(2^Nbit-1))/(2^Nbit-1);
    end
end

Datfit = [];
for i = 1:Npop
    fitness = nyoba(Individu(i,:));
end

```

```

        Datfit = [Datfit;fitness];
        [fitemax,nmax] = max(Datfit);
    end

    Dadatfit = Datfit;
    eDadatfit = [eDadatfit;Dadatfit];
    eIndividu = [eIndividu;Individu];
    [fitnessmax,nmax] = max(eDadatfit);
    efitnessmax = [efitnessmax;fitnessmax];
    BangkitMax = eBangkit(nmax,:);
    IndividuMax = eIndividu(nmax,:);
    eIndividuMax = [eIndividuMax;IndividuMax];
    BangkitMaxlast = BangkitMax;
    schedmax = BangkitMax;
    sort = [Bangkit Dadatfit];
    summary = [summary; sort];
    david = [david; Dadatfit];

    clc
    max_variable_design=eIndividuMax(1,:)
    max_objective_function=fitness(1,:)
    figure(gcf)
    title('Grafik Nilai Maksimum GA','color','b')
    xlabel('Jumlah Iterasi')
    ylabel('Cost Total')
    hold on
    plot(efitnessmax, 'DisplayName', 'efitnessmax',
        'YDataSource', 'efitnessmax');
    hold on
    end

```

Data maintenance booster pump selama lima tahun

Actual start	Actual Start	Actual Finish	Actual Finish	TTF (day)	TTF(hours)	TTR (day)	TTR(hours)
12/09/2015	08:05:00	12/15/2015	16:00:00	0	0	3	24
01/01/2016	09:11:00	01/01/2016	15:11:00	17	408	0	6
01/26/2016	07:52:00	01/26/2016	16:53:00	25	600	0	9
03/01/2016	02:00:00	03/04/2016	11:00:00	35	840	3	24
08/08/2017	00:00:00	09/08/2017	00:00:00	522	12528	31	248
07/01/2018	00:00:00	07/10/2018	00:00:00	296	7104	9	72
09/08/2018	07:56:00	10/09/2018	08:57:00	60	1440	31	248
01/18/2019	07:21:00	01/31/2019	07:21:00	101	2424	13	104
Jumlah				1056	25344	90	720
Rata - Rata				132	3168	11.25	91.875

Data *maintenance motor booster pump* selama lima tahun

Actual start	Actual Start	Actual Finish	Actual Finish	TTF (day)	TTF(hours)	TTR (day)	TTR(hours)
09/01/2014	13:16:00	09/01/2014	16:17:00	0	0	0	3
12/17/2014	11:29:00	12/17/2014	16:29:00	107	2568	0	5
01/16/2015	09:00:00	01/16/2015	16:00:00	30	720	0	7
03/11/2015	10:43:00	03/17/2015	09:58:00	54	1296	6	48
11/22/2015	08:59:00	11/22/2015	12:00:00	250	6000	0	3
Jumlah				441	10584	6	66
Rata - Rata				88.2	2116.8	1.2	13.2

Data *maintenance main pump* selama lima tahun

Actual start	Actual Start	Actual Finish	Actual Finish	TTF (day)	TTF(hours)	TTR (day)	TTR(hours)
05/23/2016	19:14:03	05/24/2016	08:26:45	0	0	1	14
02/28/2017	09:02:00	02/28/2017	15:56:00	280	6720	0	7
08/20/2018	08:00:03	08/20/2018	16:00:54	538	12912	0	8
02/15/2019	10:16:15	02/16/2019	15:12:33	179	4296	1	12
Jumlah				997	23928	2	41
Rata - Rata				249.25	5982	0.5	10.25

Data *maintenance* BFPT A selama lima tahun

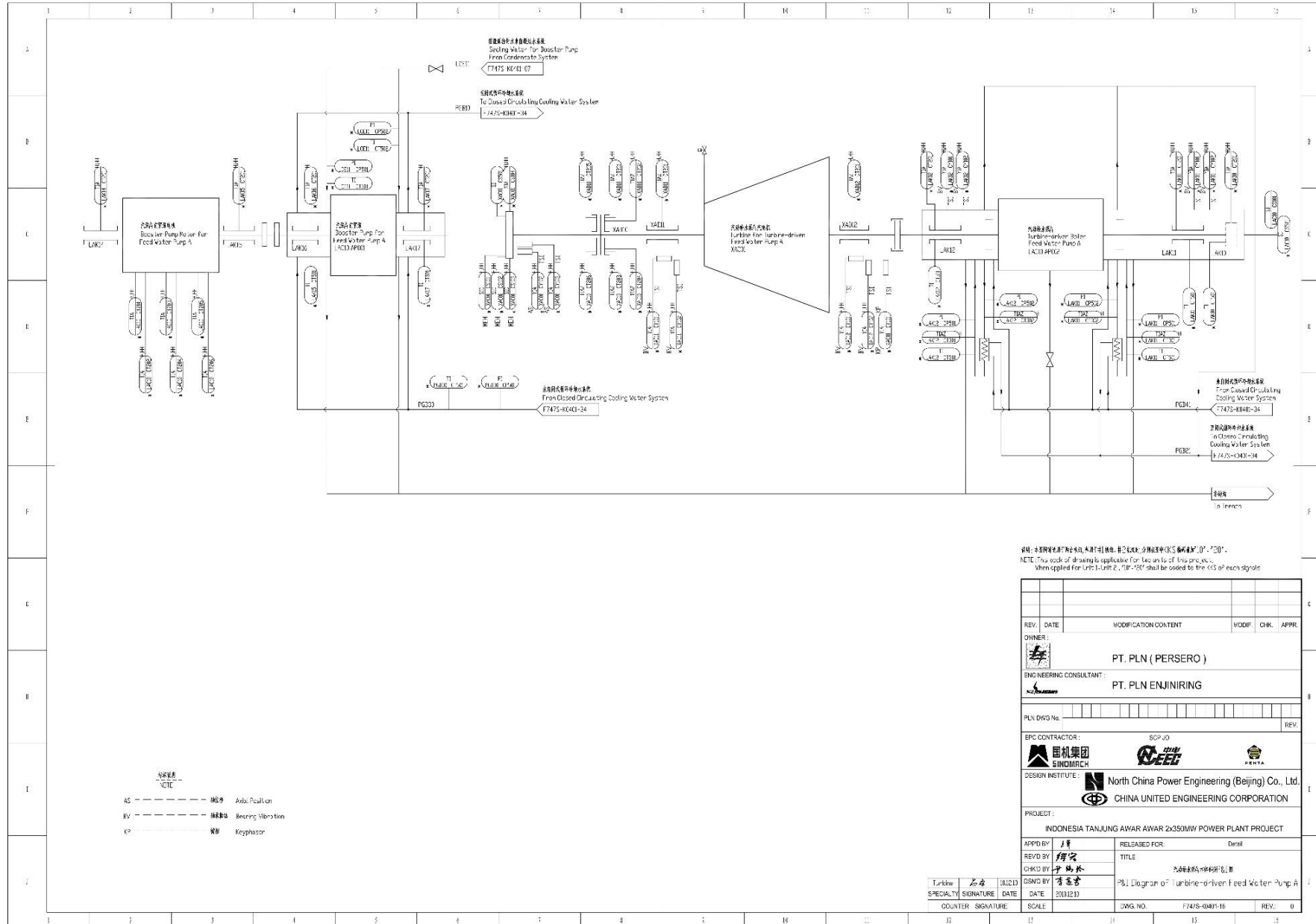
Actual start	Actual Start	Actual Finish	Actual Finish	TTF (day)	TTF(hours)	TTR (day)	TTR(hours)
08/24/2015	08:33:00	08/25/2015	15:47:00	0	0	1	14
09/16/2016	09:00:00	09/16/2016	16:00:00	388	9312	0	7
01/15/2017	10:08:00	01/15/2017	11:08:00	121	2904	0	7
03/13/2017	09:53:00	04/11/2017	09:53:00	57	1368	29	232
08/14/2017	09:00:00	08/14/2017	11:00:00	125	3000	0	5
10/24/2017	10:00:00	10/25/2017	12:00:00	71	1704	1	12
08/10/2018	10:00:00	08/10/2018	12:00:00	289	6936	0	5
Jumlah				1051	25224	31	282
Rata - Rata				150.1429	3603.429	4.428571	40.285714

Data *maintenance cooler* selama lima tahun

Actual start	Actual Start	Actual Finish	Actual Finish	TTF (day)	TTF(hours )	TTR (day)	TTR(hours )
03/18/2015	08:59:00	03/18/2015	14:00:00	0	0	0	5
07/02/2016	08:00:00	07/02/2016	16:09:00	472	11328	0	8
02/16/2017	07:00:00	02/16/2017	10:00:23	229	5496	0	3
4/18/2018	09:00:00	4/18/2018	15:00:00	426	10224	0	6
Jumlah				472	27048	0	22
Rata - Rata				236	6762	0	5.5



# P&ID Boiler Feed Pump Turbine



## BIODATA PENULIS



Nama penulis R Jongga Risky Hardiyatna Mas, kelahiran Nganjuk, 16 Februari 1998. Putra pertama dari Bapak Guntoro Moh. As'an dan Ibu Rr Erny Kartika Indryastuti. Saat ini penulis tinggal di Payaman, Nganjuk. Penulis telah menyelesaikan pendidikan di SD Aisyiyah 1 Nganjuk pada tahun 2009, SMPN 1 Nganjuk pada tahun 2012, SMAN 2 Nganjuk pada tahun 2015, dan pendidikan sarjana ditempuh di Departemen Teknik Fisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya melalui jalur SBMPTN

atau jalur tes tulis pada tahun 2015. Selama menjalani perkuliahan, penulis aktif berorganisasi dengan menjadi staff Kewirausahaan di Himpunan Mahasiswa Teknik Fisika (HMTF) dan Kepala Departemen Hubungan Luar di Paguyuban Mahasiswa Nganjuk-Surabaya (Argabayu) pada kepengurusan 2016-2017. Pada kepengurusan selanjutnya, penulis menjadi Kepala Departemen Kewirausahaan HMTF ITS. Penulis pernah melakukan internship di PLTGU PT PJB UP Muara Karang dan PLTU Tanjung Awar-awar selama masing-masing 1 bulan. Pada bulan Juni 2019, penulis telah menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul Optimisasi *Maintenance Cost* pada RCM Menggunakan Algoritma Stokastik di *Boiler Feed Pump Turbine* Unit 1 PLTU Jawa Timur. Bagi pembaca yang memiliki kritik, saran, atau ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai tugas akhir ini, maka dapat menghubungi penulis melalui email : [jongga17@gmail.com](mailto:jongga17@gmail.com)