



TESIS - TM142502

**OPTIMASI INTERVAL ANTAR OVERHAUL PADA
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP DENGAN
BERBASIS RESIKO YANG MEMPERHITUNGGAN
FAKTOR HUMAN ERROR DAN PROFIT**

EMILIUS WAHYU NUGROHO

NRP 2116207708

DOSEN PEMBIMBING

Arif Wahjudi, ST, M.T, Ph D

**PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN MANAJEMEN ENERGI
KERJASAMA PT PJB
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**



THESIS - TM142502

RISK BASED ANALYSIS FOR EVALUATING OF INSPECTION SCOPE AT HRSG 1.1 MUARA KARANG

**DADANG ROHMANSYAH
2116207715**

**SUPERVISOR
SUWARNO, ST., M.Sc., Ph.D**

**MASTER PROGRAM
FIELD STUDY OF ENERGY MANAGEMENT
IN COOPERATION WITH PT PJB
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**



TESIS - TM142502

**OPTIMASI INTERVAL ANTAR OVERHAUL PADA
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP DENGAN
BERBASIS RESIKO YANG MEMPERHITUNGGAN
FAKTOR HUMAN ERROR DAN PROFIT**

EMILIUS WAHYU NUGROHO

NRP 2116207708

Dosen Pembimbing

Arif Wahjudi, ST, M.T, Ph D

PROGRAM MAGISTER

BIDANG KEAHLIAN MANAJEMEN ENERGI

KERJASAMA PT. PJB

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBeR

SURABAYA

2018



THESIS-TM142502

**OPTIMIZATION OF INTERVAL BETWEEN
OVERHAUL ON STEAM POWER PLANT WITH RISK
BASED ON HUMAN ERROR AND PROFIT FACTORS**

EMILIUS WAHYU NUGROHO

NRP 2116207708

Advisor

Arif Wahjudi, ST, M.T, Ph D

MASTER PROGRAM

FIELD STUDY ENERGY MANAGEMENT

COORPORATION OF PT. PJB

DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING

FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY

SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY

SURABAYA

2018

LEMBAR PENGESAHAN

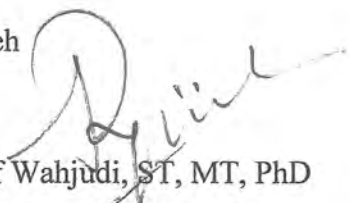
TESIS

**Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

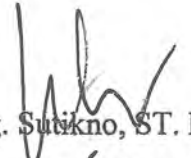
**Oleh : Emilius Wahyu Nugroho
NRP : 2116207708**

**Tanggal Ujian: 20 Juli 2018
Periode Wisuda: September 2018**


Disetujui oleh


1. Arif Wahjudi, ST, MT, PhD
NIP 197303222001121001

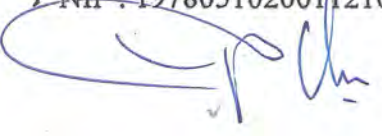
(Pembimbing)


2. Dr. Eng. Sutikno, ST, MT
NIP : 197407032000031001

(Penguji)


3. Dr. Eng. Unggul Wasiwitono, ST, M.Eng. Sc
NIP : 197805102001121001

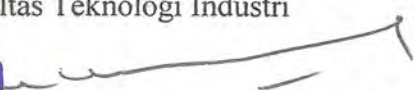
(Penguji)


4. Suwarno, ST, MSc, Ph.D
NIP : 198005202005011003

(Penguji)



Dekan Fakultas Teknologi Industri


Dr. Bambang Lelono Widjiantoro, S.T., M.T.
NIP. 196905071995121001

OPTIMASI INTERVAL ANTAR OVERHAUL PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP DENGAN BERBASIS RESIKO YANG MEMPERHITUNGKAN FAKTOR HUMAN ERROR DAN PROFIT

Nama Mahasiswa : Emilius Wahyu Nugroho
NRP : 2116207708
Pembimbing : Arif Wahjudi, S.T, M.T, Ph D.

ABSTRAK

Setiap perusahaan pembangkit listrik mempunyai standar interval antar overhaul yang berbeda. Perbedaan tersebut dapat disebabkan karena perbedaan metode yang dipergunakan perusahaan tersebut. Akan tetapi metode-metode tersebut belum memperhitungkan aspek resiko, aspek *human error* dan aspek finansial secara bersamaan. Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan interval overhaul yang optimal dengan mempertimbangkan aspek resiko, aspek *human error* dan aspek finansial secara bersamaan.

Metode penyusunan model *reliability plant* yang diusulkan menggunakan *tool Criticality Risk Matrix* dan eliminasi *equipment* yang dapat dilaksanakan overhaul pada saat *plant* dalam kondisi operasi berhasil mereduksi jumlah *equipment* yang perlu dianalisa, dari 210 menjadi 30 *equipment*. Parameter *reliability plant* diperoleh $\beta : 0,9755$, $\eta : 602,0508$, $\gamma : 7,5942$. Model *reliability plant* dikombinasikan dengan *reliability* yang dipengaruhi *human error* sehingga menghasilkan model *reliability* gabungan. Kombinasi model *unreliability* gabungan kemudian dikalikan dengan *Economical Consequences* sehingga dapat diperoleh model *Total Cost*. Pengurangan model pendapatan *netto* dan *total cost* akan menghasilkan model profit, sehingga interval optimal overhaul dapat diketahui dengan melakukan optimasi pada model tersebut.

Optimasi model profit diperoleh $t_{op1} : 7698$ jam yang menunjukkan waktu dimana *plant* menghasilkan profit tertinggi. Optimasi model *total cost* dapat dilakukan untuk mengetahui waktu paling lambat *plant* harus dishutdown untuk dilakukan overhaul dalam rangka menghindari inefisiensi biaya. Waktu optimal *total cost* diperoleh $t_{op2} : 17645$ jam.

Kata kunci : interval, overhaul, resiko, *human error*, profit

OPTIMIZATION OF INTERVAL BETWEEN OVERHAUL ON STEAM POWER PLANT WITH RISK BASED ON HUMAN ERROR AND PROFIT FACTORS

Name : Emilius Wahyu Nugroho
NRP : 2116207708
Advisor : Arif Wahjudi, S.T, M.T, Ph D.

ABSTRACT

Power plant companies have many different standard interval between overhauls. The difference may be due to the different methods used by the company. However, these methods do not take into account aspects of risk, aspects of human error and financial aspects simultaneously. The purpose of this study is to determine the optimal interval overhaul by considering aspects of risk, human error aspects and financial aspects simultaneously.

The proposed method to calculate reliability plant model using the Criticality Risk Matrix tool and elimination of equipment that can be overhauled at the time the plant under operating conditions, succeeds in reducing the number of equipment that needs to be analyzed, from 210 to 30 equipment. Parameter reliability plant obtained β : 0.9755, η : 602,0508, γ : 7,5942. The reliability plant model is combined with reliability constant affected by human error resulting in a combined reliability model. The combination of combined unreliability model, multiply to Economical Consequences so that the Total Cost model can be obtained. The difference between net income model and total cost will produce profit model, so the optimal overhaul interval can be known by doing optimization on the model.

Profit model optimization obtained $t_{op1} = 7698$ hours which shown time that plant has maximum profit. Optimization of minimization of total cost model can be done to find out the latest time the plant must be shutdown to do overhaul in order to avoid cost inefficiency. Optimal time total cost obtained t_{op2} : 17645 hours.

Keywords: interval, overhaul, risk, human error, profit

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yesus Kristus, karena atas berkatNya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini dengan judul **“Optimasi Interval Antar Overhaul Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap Dengan Berbasis Resiko yang Memperhtungkan Faktor Human Error dan Profit”**.

Tesis ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memenuhi persyaratan dalam memperoleh gelar Magister Teknik (M.T.) di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya tahun 2018.

Pada kesempatan ini, penulis menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah berperan serta dalam penyusunan tesis ini, diantaranya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Prabowo, M. Eng selaku Kaprodi S2 Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS atas segala dukungan dan bantuan dan motivasi sehingga selesainya penulisan tesis ini.
2. Bapak Arif Wahyudi, S.T., M.T., Ph.D., selaku dosen pembimbing yang dengan penuh kesabaran selalu memberi nasehat, bimbingan dan waktu sehingga selesainya penulisan tesis ini
5. Bapak Dr. Eng. Sutikno, ST. MT, Bapak Dr. Eng. Unggul Wasiwitono, ST, M.Eng. Sc, Bapak Suwarno, ST, MSc, Ph.D selaku dosen penguji yang telah memberi saran yang bermanfaat kepada penulis.
6. Pihak Pascasarjana Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya yang telah memberikan kesempatan penulis dalam mengenyam pendidikan Magister di Teknik Mesin lewat pemberian program beasiswa S2 - Manajemen Energi PT. Pembangkitan Jawa Bali di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun
7. Ibu Paramitha P , Bapak Kunto W dan segenap jajaran Div Talenta PT. Pembangkitan Jawa Bali yang dengan service excelent telah membantu

dan mendukung dengan segala fasilitas yang ada sehingga sampai selesainya penulisan tesis ini.

8. Orang tua penulis yang selalu mendoakan, memberi dukungan dan motivasi kepada penulis. Ibu Bapak, doamu membentuk hidup kami.
9. Chatarina Citra Kurnawati dan Agatha Carmelline, dua kekasih hati yang menguatkan dalam doa, penghiburan dan kasih yang nyata di dalam hidupku.
10. Teman-teman Teknik Mesin atas kebersamaannya.
11. Seluruh karyawan Jurusan Teknik Mesin yang banyak membantu dalam penyelesaian pengerjaan tesis ini.
12. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu yang telah banyak memberi dorongan dan bantuan dalam menyelesaikan tesis ini baik secara langsung maupun tidak langsung.

Menyadari atas keterbatasan pengetahuan dan penelitian sehingga dimungkinkan ada kekeliruan dan kesalahan yang tidak sengaja. Oleh karena itu kritik dan saran yang membangun sangat dibutuhkan guna perbaikan dan pengembangan lebih lanjut. Semoga tesis ini dapat bermanfaat dan memenuhi apa yang diharapkan.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

	Hal
HALAMAN JUDUL INDONESIA	i
HALAMAN JUDUL INGGRIS	iii
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT.....	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xx
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	4
1.2 Rumusan Masalah	4
1.2.1 Batasan Masalah	4
1.2.2 Asumsi Penelitian	5
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Manfaat Penelitian	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Gambaran Umum Proses Overhaul pada Unit Pembangkit Tenaga Uap.....	6 7
2.2 Penelitian Sebelumnya.....	9
2.2.1 Penentuan interval berbasis resiko	9
2.2.2 Kontribusi faktor human error da integrasi ke modul proses berbasis resiko	31
2.2.3 Perhitungan aspek finansial ke proses berbasis resiko	35
2.2.4 Optimasi fungsi dengan <i>Genetic Algorithm</i> (GA)	37
2.2.5 <i>Life assessment</i> pembangkit.....	39

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian	40
3.2 Pembagian Sistem Unit Pembangkit.....	40
3.3 Penyusunan Priorotas Berdasarkan Ranking Peralatan	40
3.4 Pengumpulan Data Kegagalan.....	55
3.5 Pengumpulan Data Terkait Proses Perbaikan.....	55
3.6 Penyusunan <i>Reliability Block Diagram</i>	55
3.7 Pengembangan Model Kegagalan Sistem	56
3.8 Penyusunan <i>Human Error Probability Model</i>	56
3.9 Penyusunan Sistem Kegagalan Gabungan	57
3.10 <i>Failure Consequences</i>	57
3.11 Penyusunan <i>Risk Profil</i>	57
3.12 Penyusunan <i>Total Cost</i> , Profit dan Grafik Optimasi	58
3.13 Metode Optimasi.....	58

BAB 4 PEMBAHASAN

4.1.Menghitung Probability Terjadinya <i>Failure</i> Setiap <i>Equipment</i>	60
4.1.1. Pengumpulan Data Kegagalan.....	60
4.1.2. Menghitung Nilai Probability Equipment.....	63
4.2.Penyusunan <i>Criticality Ranking</i> Peralatan.....	69
4.2.1. Menyusun <i>Reliability Block Diagram</i> dari <i>Plant</i> dan <i>System</i>	69
4.2.2. Menghitung Nilai Dampak.....	91
4.2.3. Klasifikasi Katagori Risiko Equipment Berdasarkan <i>Criticality Risk Matrix</i>	95
4.3.Seleksi Equipment Yang Dapat Dilakukan Overhaul Pada Saat Plant Kondisi Operasi.....	103
4.3.1. Menentukan <i>Equipment Yang Redundant</i>	104
4.3.2. Menghitung MTBF.....	105
4.3.3. Komparasi Standar Durasi Overhaul dan MTBF.....	109
4.4.Menentukan Reliability Plant Baru.....	110
4.5.Penyusunan <i>Human Error Probability Model</i>	115
4.6. Penyusunan Sistem Kegagalan gabungan.....	126

4.7.Penyusunan <i>Economic Failures Consequences</i>	127
4.7.1. Penghitungan <i>Economic Consequences of Asset Lost (ECAL)</i>	128
4.7.2. Menghitung <i>Economic Consequences of Human Health Loss (ECHHL)</i>	134
4.7.3. Menghitung <i>Economic Consequences of Production Loss (ECPL)</i>	136
4.7.4. Menghitung <i>Economic Consequences of Shutdown Inspection and Maintenance Cost (ECSIM)</i>	141
4.7.5. Penghitungan <i>Total Economic Consequence of Failure (ECT)</i>	146
4.8.Penghitungan Risiko.....	146
4.9.Menghitung <i>Total Maintenance Cost</i>	147
4.10. Menghitung <i>Total Cost</i>	149
4.11. Menghitung Profit.....	149
4.11.1. Menentukan Persamaan NPHR.....	150
4.11.2. Menghitung Pendapatan Transfer Energi , Biaya Bahan Bakar dan Pendapatan Bersih (Z).....	151
4.11.3. Menentukan Persamaan Profit (V).....	152
4.12. Optimasi fungsi Profit , <i>Total Cost</i> dan Risiko.....	153
4.12.1. Optimasi maksimasi fungsi profit.....	154
4.12.2. Optimasi minimasi fungsi total cost.....	164
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan.....	168
5.2 Saran.....	170
DAFTAR PUSTAKA	173
LAMPIRAN	175
BIOGRAFI PENULIS	201

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Pengaruh β Terhadap Variasi Distribusi Weibull PDF (LDA, 2015).....	14
Gambar 2.2. Pengaruh β Terhadap CDF atau F(t) Distribusi Weibull (LDA, 2015).....	15
Gambar 2.3. Pengaruh β Terhadap R Distribusi Weibull (LDA, 2015).....	16
Gambar. 2.4. Pengaruh β Terhadap Failure Rate Distribusi Weibull (LDA, 2015).....	17
Gambar 2.5. Pengaruh η Terhadap PDF Distribusi Weibull (LDA 2015).....	18
Gambar 2.6. Pengaruh γ Terhadap PDF Distribusi Weibull (LDA, 2015).....	19
Gambar 2.7. Pengaruh μ Pada PDF Distribusi Normal (LDA, 2015).....	21
Gambar 2.8. Pengaruh σ Pada PDF Distribusi Normal (LDA, 2015).....	21
Gambar 2.9. Pengaruh σ' Terhadap PDF Distibusi Lognormal (LDA,2015)....	23
Gambar 2.10. Pengaruh μ' Terhadap Distibusi Lognormal (LDA, 2015).....	24
Gambar 2.11 Rangkaian Seri.....	24
Gambar 2.12. Rangkaian Pararel.....	25
Gambar 2.13 Rangkaian <i>M out of N Network</i>	26
Gambar 2.14 <i>Reliability Single Component vs Time</i> (Gosh & Roy 2007).....	27
Gambar 2.15 Empat Tipe <i>Human Error</i> dalam Sistem <i>Life Cycle</i> (Dhillon, 2014)	31
Gambar 2.16 Metodologi SLIM.....	32
Gambar 2.17 Flow Chart Integrasi <i>Human Error Probability Model</i>	34
Gambar 2.18. Optimasi Akhir.....	37
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	42
Gambar 3.2. <i>Criticality Risk Matrix</i> (API RP 580 2002).....	43
Gambar3.3 <i>Reliability Block Diagram Level 1</i>	55
Gambar 3.4. <i>Reliability Block Diagram Level 2</i>	55
Gambar 3.5. Proses <i>Genetic Algorithm</i>	59
Gambar 4.1. Standar Interval Perusahaan pada Berbagai Jenis Pembangkit...	65
Gambar 4.2 RBD <i>Plant System</i>	70
Gambar 4.3. RBD <i>Plant Control System</i>	70
Gambar 4.4. RBD <i>Input Power System</i>	71
Gambar 4.5. RBD <i>Cooling Water System</i>	73
Gambar 4.6. RBD <i>Condensate System</i>	75
Gambar 4.7. RBD <i>Feed Water System</i>	77
Gambar 4.8. RBD <i>Flue Gas System</i>	78
Gambar 4.9 RBD <i>Boiler Furnace System</i>	80
Gambar 4.10 RBD <i>Turbine System</i>	84
Gambar 4.11. RBD <i>Generator System</i>	87
Gambar 4.12 RBD <i>Out Power System</i>	88
Gambar 4.13 RBD <i>Ash Handling System</i>	89

Gambar 4.14. RBD <i>Plant Control System</i> Revisi 1.....	98
Gambar 4.15. RBD <i>Cooling Water Pump</i> Revisi 1.....	99
Gambar 4.16. RBD <i>Condensate System</i> Revisi 1.....	99
Gambar 4.17. <i>Feed Water System</i> Revisi 1.....	100
Gambar 4.18. RBD <i>Flue Gas System</i> Revisi 1.....	100
Gambar 4.19. RBD <i>Boiler Furnace System</i> Revisi 1.....	101
Gambar 4.20. <i>Turbine System</i> Revisi 1.....	102
Gambar 4.21. RBD <i>Generator System</i> Revisi 1.....	102
Gambar 4.22. RBD <i>Plant System</i> Revisi 1.....	104
Gambar 4. 23. RBD <i>Condensate System</i> Revisi 2.....	110
Gambar 4. 24 RBD <i>Boiler Furnace System</i> Revisi 2.....	111
Gambar. 4.25. RBD <i>Plant System</i> Revisi 2.....	112
Gambar. 4.26. Grafik ECAL Merupakan Fungsi Waktu.....	132
Gambar. 4.27. Grafik ECHHL Merupakan Fungsi Waktu.....	135
Gambar 4.28. Diagram <i>Block Down Mission Time</i> 52560 jam.....	136
Gambar 4.29. Diagram <i>Block Up Down Mission Time</i> 8000 jam.....	137
Gambar 4.30. Grafik ECPL Merupakan Fungsi Waktu.....	141
Gambar 4.31. Grafik ECT/t Merupakan Fungsi Waktu.....	147
Gambar. 4.32. Grafik RISKe” Berdasarkan Fungsi Waktu.....	148
Gambar. 4.33. Grafik Kr” Merupakan Fungsi Waktu.....	149
Gambar 4.34. Trending NPHR.....	150
Gambar 4.35. Grafik V” Berdasarkan Waktu.....	158
Gambar 4.36. Grafik Kc” Berdasarkan Waktu.....	167
Gambar 5.1. Grafik Hubungan V”, Z” dan Kc”.....	170

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Perbandingan Lingkup Pekerjaan Setiap Inspeksi.....	7
Tabel 2.2 <i>Criticality Risk Ranking Matrix</i>	8
Tabel 3.1. <i>Criticality Risk Matrix</i> (Hameed 2014).....	44
Tabel 3.2. <i>Criticality Risk Matrix</i> API RP 581 (2008).....	45
Tabel 3.3. <i>Probability dan Area Based Consequence</i> API RP 581 (2008).....	46
Tabel 3.4. <i>Probability dan Financial Based Consequence</i> API RP 581 (2008).....	46
Tabel 3.5. <i>Criticality Risk Matrix</i> (Lam. Kep. Dir. PT.PJB 2014).....	47
Tabel 3.6. Tingkat Risiko dan Kriteria Umum (Lam. Kep. Dir. PT.PJB 2014).....	48
Tabel 3.7. Tingkat Kemungkinan Risiko (Lam. Kep. Dir. PT.PJB 2014)	49
Tabel 3.8. Tingkat Dampak Risiko (Lam. Kep. Dir. PT.PJB 2014).....	50
Tabel 3.9. Kriteria Dampak Risiko Baru.....	53
Tabel 4.1. Data <i>Equipment Failure Coal Feeder B</i>	62
Tabel 4.2. <i>Failure Time Coal Feeder B</i>	63
Tabel 4.3. Equipment Dengan Nilai Kemungkinan 5.....	67
Tabel 4.4. <i>Equipment</i> Dengan Nilai Kemungkinan 4.....	67
Tabel 4.5. <i>Equipment</i> Dengan Nilai Kemungkinan 3.....	68
Tabel 4.6. <i>Equipment</i> Dengan Nilai Kemungkinan 2.....	69
Tabel 4.7. Hasil Klasifikasi Berdasarkan Katagori Risiko.....	95
Tabel 4.8. Hasil Simulasi MTBF.....	105
Tabel 4.9. Distribusi dan Parameter Persamaan.....	112
Tabel 4.10. Seleksi <i>Performance Shaping Factor</i>	116
Tabel. 4.11. Pembobotan Dan Normalisasi PSF.....	118
Tabel. 4.12. Penilaian PSF.....	120
Tabel 4.13. Rekap SLI dan HEP.....	125
Tabel 4.14. <i>Cost of Injury</i> (PP RI No. 7 BPJS, 2007).....	133
Tabel 4.15. Perhitungan ECPL.....	137
Tabel 4.16. Perbandingan Square of Error dari ECPL.....	138

Tabel 4.17. Biaya Perencanaan dan Pengontrolan Proyek (C_p).....	140
Tabel 4.18 Perhitungan Biaya Inspeksi (C_i).....	143
Tabel 4.19. Penghitungan Biaya Pemeliharaan dan Material (C_{imm}).....	144
Tabel 4.20. Perhitungan C_{ts}	146
Tabel 4.21. Perhitungan <i>Sum Square of Error</i> NPHR.....	151
Tabel 4.22. Hasil Simulasi Fitness Fungsi V'' dengan GA.....	155
Tabel 4.23. Hasil Simulasi Fitness Mencari t_{min}	160
Tabel 4.24. Hasil Simulasi Fitness Mencari t_{max}	162
Tabel 4.25. Hasil Simulasi Fitness Fungsi Kc'' dengan GA.....	165

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri pembangkit listrik mempunyai sistem pengelolaan pemeliharaan, diantaranya dengan menerapkan pemeliharaan preventif, pemeliharaan korektif dan pemeliharaan korektif. Pada pemeliharaan preventif, dapat dilakukan pada saat unit beroperasi (preventif rutin) dan pada saat unit tidak beroperasi pada waktu yang panjang, yang lazim disebut overhaul. Overhaul yang dimaksud dalam penelitian ini adalah *shutdown maintenance* dalam periode waktu terpanjang yang dilaksanakan pada peralatan PLTU utama, yaitu pada area *turbine*, *generator* dan *boiler*. Duffua dan Daya (2004) mendefinisikan bahwa *shutdown maintenance* adalah pemeliharaan periodik pada peralatan yang dikhususkan atau direncanakan dengan tujuan inspeksi, repair, penggantian suatu komponen yang hanya dapat dilakukan pada saat peralatan tidak beroperasi. *Shutdown maintenance* sering disebut juga *turn around maintenance*.

Sebuah perusahaan pembangkit listrik di Jawa Barat, Indonesia menerapkan standar pengelolaan overhaul pada instalasi pembangkit listriknya dimana interval antar overhaul ditetapkan selama 8000 jam operasi kumulatif dihitung dari sinkron jaringan pertama ke overhaul berikutnya. Overhaul ditujukan untuk menaikkan keandalan dan efisiensi unit pembangkit terkait. Pada prakteknya, interval 8000 jam operasi tidak selalu dapat diterapkan dengan sempurna, dapat lebih pendek atau lebih panjang dari standar tersebut. Alasan dominan adalah kekurangan pasokan tenaga listrik sehingga interval menjadi lebih panjang atau terjadinya kondisi kerusakan yang signifikan atau penurunan efisiensi yang ekstrim sehingga overhaul dilakukan lebih awal dari standar 8000 jam tersebut.

Obyek penelitian ini mempunyai interval overhaul 4-8 bulan, dan dengan catatan tambahan apabila *equipment* dalam kondisi baik, maka dapat diperpanjang secara bertahap dalam rangka optimalisasi fungsi dan menurunkan biaya pemeliharaan (SCP JO, 2010).

Setiap institusi mempunyai standar interval overhaul *steam turbine* yang berbeda-beda (IMIA WGP 42.05, 2005). *Official service guide line steam turbine* dari GE merekomendasikan interval 5 tahun, sedangkan *Electric Power Research Institute* (EPRI) menyatakan waktu overhaul yang tepat pada turbine adalah saat perhitungan dengan metode *Nett Present Value* mencapai negatif. Tidak jauh dari GE, perusahaan pembangkit listrik di USA menggunakan interval 5-6 tahun untuk unit pembangkitnya dan VGB menyatakan interval antara overhaul *turbine* adalah 25.000 jam operasi.

Suatu metode penentuan interval inspeksi pada instalasi pengolahan LNG dengan berbasis pada resiko telah membantu proses optimasi interval inspeksi (overhaul) dengan mempertimbangkan resiko yang terkait dengan produksi, *safety* dan lingkungan serta mengkombinasikannya dengan perhitungan keandalan sistem dengan menggunakan data operasi sebelumnya (Hameed, 2014). Interval yang dipilih adalah ketika nilai resiko berpotongan dengan nilai resiko yang dapat diterima perusahaan (*acceptable risk*) tersebut. Kelemahan metode ini adalah nilai *acceptable risk* tidak dijelaskan bagaimana menghitungnya, tetapi merupakan nilai tetapan dari perusahaan.

Kegagalan pada *repairable system* dapat terjadi, tidak hanya karena kegagalan perangkat keras, namun dapat pula disebabkan oleh *operating human error* atau *maintenance error* (Dhillon dkk,1995). *Human Error* diklasifikasikan menjadi 6 katagori, yaitu *operating error, assembly error, design error, inspection error, instalation error* dan *maintenance error* (Dhillon dkk ,2006). Penelitian yang dilakukan (Hameed, 2014) kemudian dikembangkan oleh (Hameed,2015) mengusulkan menambahkan faktor koreksi yang berasal dari kalkulasi probabilitas akibat *human error* sehingga perhitungan kombinasi resiko dengan keandalan peralatan akan berubah. Dasar pertimbangannya adalah dalam kegiatan overhaul sebelumnya terdiri dari banyak jenis pekerjaan, dengan faktor kesulitan yang berbeda-beda. Hal ini mengakibatkan hasil pekerjaannya memiliki resiko kegagalan akibat ketidaksempurnaan proses oleh karena faktor *human error*. Faktor *human error* ini dapat dihitung dengan metode *Succes Likelihood Index Methode* (SLIM). Metode SLIM dapat menunjukkan aktivitas pekerjaan apa yang berpotensi menimbulkan *error* pada hasil pekerjaan, karena faktor prosedur, kelelahan,

kerumitan, training atau pengalaman (Ratna ,2013). Optimasi interval dilakukan dengan memilih waktu pada titik dimana resiko pada titik minimal. Kelemahan metode ini adalah secara aktual, apabila satuan yang dipilih adalah satuan finansial, maka yang paling berpengaruh terhadap keberlangsungan perusahaan adalah faktor profit dan bukan faktor resiko. Kondisi terkini peralatan sebagai hasil dari inspeksi pada saat overhaul tidak diperhitungkan sehingga hasil optimasi interval hanya berasal perhitungan probabilitas data sebelum overhaul.

Inspeksi berbasis resiko (RBI) merupakan alat yang ampuh dalam sistem pemeliharaan. Metode kuantitatif RBI dapat dipakai untuk menentukan estimasi komponen apa yang akan *breakdown*, menyusun master database kerusakan berdasarkan *unreliability function* setiap event, melakukan optimasi interval overhaul dengan berdasarkan fungsi resiko, fungsi biaya dan fungsi pendapatan (Fujiyama, 2004).

Model matematis dari *time between maintenance*, yang memperhitungkan efek ekonomi dan level resiko dari peralatan *steam turbine* dapat dipergunakan dalam penentuan interval optimal (Rusin, 2012). Sebagai dasar data riil frekuensi kegagalan *steam turbine* dipergunakan untuk menghitung probabilitas dari terjadinya 4 skenario kegagalan utama. Nilai relatif dari konsekuensi terjadinya kegagalan tersebut diestimasi menjadi level resiko. Interval antara overhaul diperoleh dengan mencari selisih antara potensi pendapatan dengan level resiko, sehingga kualitas hasil overhaul sangat mempengaruhi interval setelahnya. Kualitas overhaul yang dimaksud adalah efisiensi termal, yang tidak dipertimbangkan metode ini. Estimasi resiko hanya menggunakan data kegagalan pada waktu sebelum dilakukan overhaul dan tidak mengakomodir kondisi terkini berdasarkan hasil inspeksi yang dilakukan pada overhaul terakhir, sehingga optimasi interval antara overhaul dapat tidak valid akibat adanya potensi kegagalan yang diperoleh dari inspeksi terbaru namun tidak tergambar pada data kegagalan yang lalu. Kekurangan lain adalah tidak adanya model untuk melakukan estimasi terhadap hasil kualitas overhaul dalam sisi keandalan.

Pemerintah mengatur penentuan interval antara overhaul tipe major pada pembangkit thermal di negara Jepang. Interval tipe major paling panjang adalah 2

tahun. Mitsubishi Heavy Industry menggunakan regulasi tersebut dalam menentukan interval pada unit pembangkitnya. Pada *life time* 1 – 10 tahun, interval antar overhaul tipe major adalah 2 tahun. Sesudah melewati masa 10 tahun, *life assessment (itegrity assesment)* wajib dilakukan pada turbine dan boiler. Hasil *life assessment* adalah berupa jam operasi yang tersisa dimana peralatan tersebut masih aman dioperasikan. Interval overhaul yang diperbolehkan pada unit pembangkit di atas 10 tahun adalah 50% dari hasil *life assessment* atau 2 tahun dipilih mana yang paling pendek (METI, 2017).

Berdasarkan hal di atas dapat diketahui bahwa masing masing institusi memiliki standar atau metode yang berbeda dalam menentukan interval antara overhaul sebagai bagian dari proses manajemen pemeliharaan, khususnya pada industri pembangkit listrik. Akan tetapi metode-metode tersebut belum memperhitungkan aspek resiko, aspek *human error* dan aspek finansial secara bersamaan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada sub bab Latar Belakang, maka dapat dirumuskan permasalahan yaitu bagaimana menentukan interval overhaul yang optimal dengan mempertimbangkan aspek resiko, aspek *human error* dan aspek finansial secara bersamaan.

1.2.1 Batasan Masalah

Penelitian ini memiliki batasan masalah :

1. Obyek dan data adalah pada unit utama (turbine, generator, boiler) pembangkit tenaga listrik unit #1 330 MW Indramayu dan tidak termasuk unit peralatan pendukung lain (common coal handling facility, water treatment plant, H₂ plant dan sebagainya).
2. Detail penghitungan efisiensi thermal unit, variasi turun naik biaya operasi dan pemeliharaan tidak menjadi fokus penelitian.

1.2.2 Asumsi Penelitian

Asumsi yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Tidak terdapat kondisi kerusakan khusus pada equipment yang kritis yang disebabkan sebagai penentu interval berikutnya
2. Lingkup pekerjaan, kualitas *spare parts* dan kompetensi pelaksana overhaul adalah sama dari waktu ke waktu.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan interval overhaul yang optimal dengan mempertimbangkan aspek resiko, aspek human error dan aspek finansial secara bersamaan.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah membantu instistusi/perusahaan pengelola manajemen pemeliharaan pembangkit listrik tenaga uap untuk melakukan optimasi interval antar overhaul dalam rangka mencapai resiko terendah dan perolehan profit tertinggi.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gambaran Umum Proses Overhaul pada Unit Pembangkit Tenaga Uap

Overhaul dilakukan secara periodik secara terencana pada unit pembangkit untuk mengembalikan keandalan peralatan dengan proses *turnaround maintenance*. Aktivitas yang dilakukan dalam proses overhaul yang dikutip dari Duaffa dan Daya (2004) menyebutkan, bahwa :

1. Inspeksi yang hanya dapat dilakukan pada saat unit dalam kondisi *shutdown*
2. Inspeksi yang dapat dilakukan pada saat unit dalam kondisi operasi namun memerlukan waktu dan personil yang besar atau beresiko *safety* sehingga lebih baik dilakukan pada saat kondisi *shutdown*
3. Perbaikan dari kerusakan yang terjadi saat operasi, yang perbaikannya hanya dapat dilakukan pada waktu shutdown

Delapan kunci sukses sebuah proyek, adalah biaya, waktu, *health and safety*, kepuasan partisipan, harapan pengguna, performansi lingkungan, profit komersial dan kualitas (Chan, 2004). Tujuan overhaul adalah mengembalikan unit ke performansi awal, mengurangi *maintenance cost* rutin, mengurangi unit *breakdown*, menaikkan keandalan dan ketersediaan, dan menjamin keamanan peralatan saat dioperasikan (Obiajunwa, 2012).

Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) yang dimiliki perusahaan obyek penelitian ini mempunyai 3 jenis overhaul yaitu *Simple Inspection* (SI), *Mean Inspection* (ME) dan *Serious Inspection* (SE) dengan interval diantara overhaul adalah 8000 jam operasi. Perbedaan lingkup pekerjaan diantara ketiga jenis overhaul tersebut adalah seperti di bawah ini:

Tabel 2. 1 Perbandingan Lingkup Pekerjaan Setiap Inspeksi

	<i>Simple Inspection</i>	<i>Mean Inspection</i>	<i>Serious Inspection</i>
Turbine Uap	-	Inspeksi visual, cleaning	Cleaning, NDT dan repair
Boiler	Cleaning	cleaning	cleaning
Generator	<i>Life assessment</i>	<i>Life assessment</i>	<i>Total life assessment</i>
Trafo	<i>Life assessment</i>	<i>Life assessment</i>	<i>Total life assessment</i>
Pompa utama	<i>Alignment</i>	Inspeksi dan <i>alignment</i>	Inspeksi dan <i>alignment</i>
Fan utama	<i>Alignment</i>	Inspeksi dan <i>alignment</i>	Inspeksi dan <i>alignment</i>
<i>Mill dan coalfeeder</i>	Inspeksi dan repair	Inspeksi dan repair	Inspeksi dan repair

2.2 Penelitian Sebelumnya

Terdapat penelitian yang sudah dilakukan untuk melakukan estimasi interval overhaul berbasis resiko pada industri LNG yang dikutip dari Hameed (2014) . Metode yang dihasilkan terdiri dari 3 modul, yaitu:

1. Modul 1: seleksi peralatan berbasis resiko

Dalam modul ini *tool qualitative criticality risk ranking matrix* digunakan dalam proses seleksi peralatan kritis yang tidak dapat diinspeksi atau repair pada saat kondisi unit dalam operasi. *Level severity* dan *probability* mempunyai skala dari 1 sampai 5. Dari perhitungan $severity \times probability$, maka hasil yang bernilai tinggi dikategorikan sebagai peralatan kritis.

Tabel 2.2 *Criticality Risk Ranking Matrix*

Risk Matrix						
<i>Failure Frequency</i>						
<i>Frequent</i>	5	M	H	H	H	H
<i>Probable</i>	4	L	M	M	H	H
<i>Occasional</i>	3	L	M	M	M	H
<i>Remote</i>	2	L	L	M	M	H
<i>Extremely Unlikely</i>	1	L	L	L	L	M
<i>Consequence Rating</i>		1	2	3	4	5
<i>Asset Damage</i>		<i>Negligible</i>	<i>Minor</i>	<i>Moderate</i>	<i>Major</i>	<i>Catastrophic</i>
<i>Production Loss</i>		<5%	5-10%	10-30%	30-60%	>60%
<i>Safety/Health</i>		<i>Near miss/First Aid</i>	<i>Minor Injury</i>	<i>Injury with Disability</i>	<i>Permanent Disability</i>	<i>Fatalities</i>
<i>Environment</i>		<i>No effect</i>	<i>Minor effect</i>	<i>Moderate effect</i>	<i>Major effect</i>	<i>Massive effect</i>

\ Sumber : Hameed ,2014

2. Modul 2: estimasi data kegagalan dan dampak kegagalan

Dalam modul ini, perhitungan data keandalan peralatan digunakan untuk menghitung *failure system probability*, yang kemudian model seri atau paralel diterapkan sesuai desain keandalan sistem. Penghitungan *consequences*, meliputi *economic consequences of asset loss (ECAL)*, *economic consequences of human health loss (ECHHL)*, *economic consequences of production loss (ECPL)*, *economic consequences of shutdown inspection and maintenance cost (ECSIM)* dilakukan untuk menghitung *estimated operational risk (RISKe)*.

3. Modul 3: optimasi interval overhaul

Interval optimasi diperoleh dari jam dimana $RISK_e \leq RISK_{acceptable}$. $RISK_{acceptable}$ adalah sebuah tetapan.

Hameed (2015) mengembangkan penelitian sebelumnya dengan menambah *Select Human Error Probability Model* pada modul 2 metode sebelumnya. Hampir sama dengan metode yang diusulkan oleh Hameed, Khan (2014), Rusin (2012) mempunyai metode yang berbasis resiko, hampir sama dengan metode yang disajikan Hameed, Khan (2014). Setelah resiko dihitung, maka langkah selanjutnya adalah menghitung *total cost*, yang terdiri dari *maintenance cost* dan *operational cost*. Kombinasi grafik resiko dan *total cost* menghasilkan grafik baru yaitu grafik kombinasi resiko dan *cost*. Kemudian pendapatan produksi dihitung dengan mempertimbangkan faktor efisiensi thermal. Grafik pendapatan produksi dan grafik kombinasi resiko dan *cost* diselisihkan sehingga muncul grafik profit. Optimasi interval overhaul dilakukan dengan mencari titik maksimum profit.

2.2.1 Penentuan interval berbasis resiko

Metode optimasi berbasis resiko dilakukan sebagai berikut :

1. Melakukan seleksi peralatan berdasarkan resiko.

Dalam melakukan seleksi equipment, diperlukan analisa data reliability dengan tujuan memperoleh parameter β (*shape parameter/slope*) dan θ (*scale parameter*) equipment. Dari parameter tersebut dapat diturunkan menjadi *Cummulative Distribution Function (CDF)* atau Un reliability (F). Dari CDF atau F(t) dapat dihitung probability failure equipment dalam jangka waktu yang diharapkan.

Software analisa data *reliability equipment* yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah RGA yang menggunakan model *Power Law* untuk kalkulasi parameter distribusi. Pada sistem dengan beberapa mode *failure*, repair pada *single failure mode* tidak mempengaruhi *reliability* sistem secara signifikan, hal ini disebut minimal repair.

Dalam model *power law* terdapat parameter β (*shape parameter/slope*) dan θ (*scale parameter*).

RSP RGRSDA (2005), menyebutkan, pada *system* atau *equipment* dengan *start time* dan *end time* sama, diperoleh

$$\theta = \frac{\sum_{q=1}^K Nq}{KT^\beta} \quad (1)$$

dan

$$\beta = \frac{\sum_{q=1}^K Nq}{\sum_{q=1}^K \sum_{i=1}^{Nq} \ln \frac{T}{Xiq}} \quad (2)$$

Dari persamaan tersebut, dapat diperoleh :

Persamaan *cummulative distribution function* :

$$F(x) = 1 - e^{-\theta x^\beta} \quad (3)$$

dan

Persamaan *probability density function* :

$$f(x) = \frac{d}{dx} F(x) \quad (4)$$

$$f(x) = \theta \beta x^{\beta-1} \cdot e^{-\theta x^\beta} \quad (5)$$

Persamaan failure rate

$$Y(x) = \frac{f(x)}{1-F(x)} \quad (6)$$

$$Y(x) = \theta \beta x^{\beta-1} \quad (7)$$

Persamaan *Conditional Reliability* pada *system age* t dan yang akan dioperasikan pada *mission time* d

$$R(t) = e^{-[\theta(t+d)^\beta - \theta t^\beta]} \quad (8)$$

Dengan

q : *system* yang diobservasi

q : 1,2,...K

θ : *scale parameter*

β : *shape parameter/slope*

T : *end time* sistem (sama)

Nq : jumlah *failure* yang dialami oleh q *system*

A. Distribusi Weibull

Menurut RSP Weibull (2012), parameter model *power law* dapat konversi dalam parameter distribusi weibull.

$$\eta = \frac{1}{\theta^{1/\beta}} \quad (9)$$

Sehingga diperoleh persamaan distribusi weibull

Probability Density Function

2-Parameter Weibull

$$f(t) = \frac{\beta t^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}}{\eta^\beta} \quad (10)$$

3-Parameter Weibull

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (11)$$

Cumulative Distribution Function

$$F(t) = \int_{\infty}^t f(t) dt \quad (12)$$

2-Parameter Weibull

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (13)$$

3-Parameter Weibull

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (14)$$

$$F_{\text{sys}}(t) = 1 - R_{\text{sys}}(t) \quad (15)$$

Hazard Rate :

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (16)$$

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \quad (17)$$

Reliability :

2-Parameter Weibull

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (18)$$

3-Parameter Weibull

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (19)$$

Conditional Reliability Function adalah *probability* dari suksesnya sebuah misi lain yang mengikuti suksesnya misi sebelumnya (LDA, 2015). Diperoleh persamaan

$$R(T, t) = \frac{R(T + t)}{R(T)} \quad (20)$$

Dimana T : *system age*

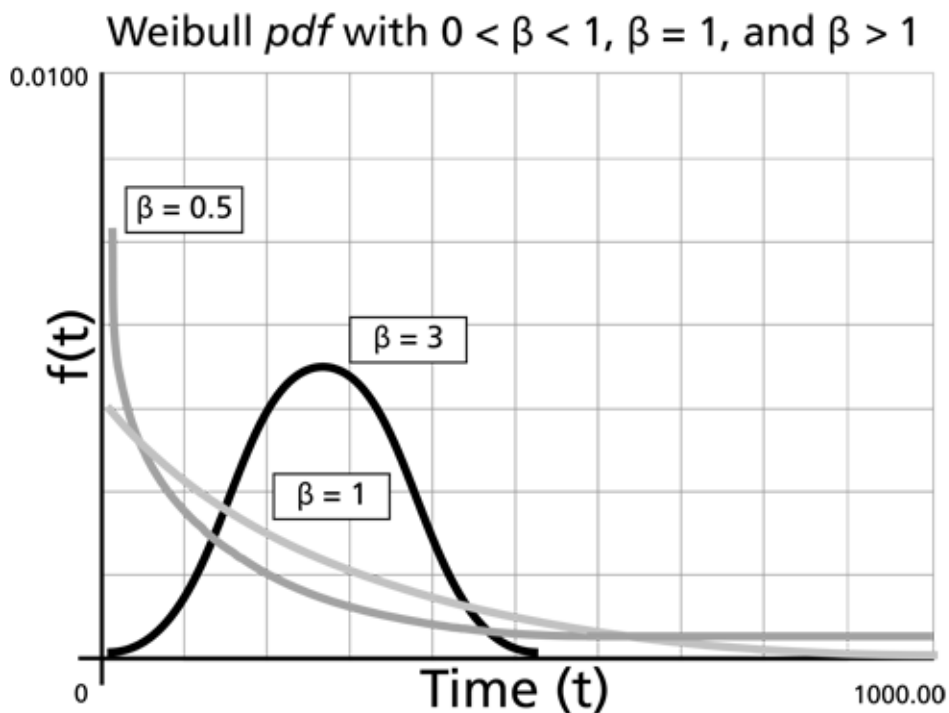
t : *mission time*

β : shape parameter atau slope, > 0

η : scale parameter atau characteristic life > 0

γ : location parameter atau failure free life, $-\infty < \gamma < \infty$

Distribusi weibull umum dipergunakan dalam analisa *reliability* dan *life data*. *Shape parameter* Weibull, β , juga dikenal sebagai *slope*. Ini karena nilainya sama dengan kemiringan garis regresi dalam plot probabilitas. Nilai yang berbeda dari parameter bentuk dapat memiliki efek yang ditandai pada perilaku distribusi. Bahkan, beberapa nilai dari *shape parameter* akan menyebabkan persamaan distribusi berubah menjadi distribusi lainnya. Misalnya, ketika $\beta=1$, (probability distribution function (pdf) dari distribusi Weibull 3-parameter dapat berubah menjadi distribusi eksponensial 2-parameter. Di bawah ini adalah gambar distribusi weibull dengan variatif *shape parameter* (β).



Gambar 2.1. Pengaruh β Terhadap Variasi Distribusi Weibull PDF (LDA, 2015)

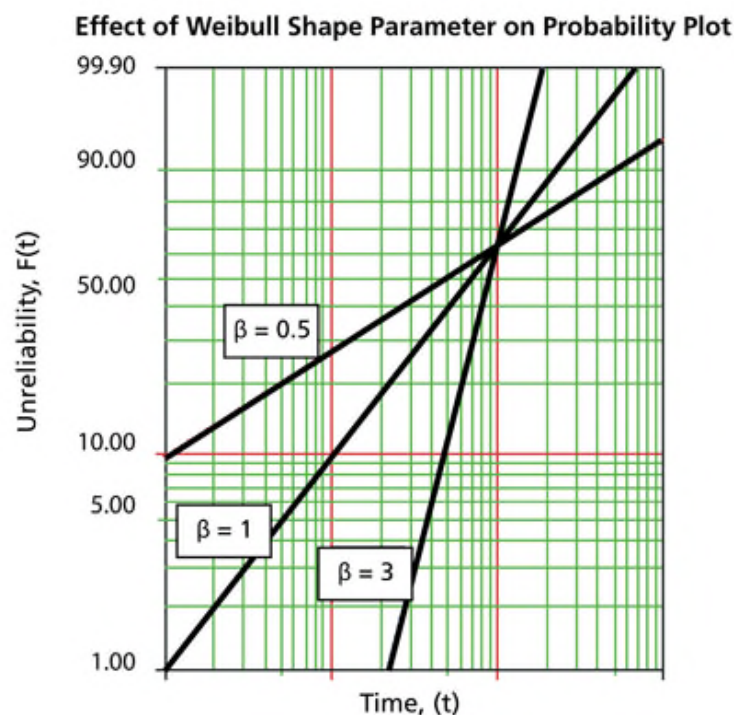
Pada $0 < \beta \leq 1$:

- Jika $t \rightarrow 0$ (atau γ), $f(t) \rightarrow \infty$
- Jika $t \rightarrow \infty$, $f(t) \rightarrow 0$
- $f(t)$ menurun secara monoton

Pada $\beta > 1$:

- a. $f(t) = 0$ pada $t = 0$ atau γ
- b. $f(t)$ naik dan kemudian turun
- d. Pada $\beta < 2,6$ Weibull pdf condong positif (memiliki ekor pada sisi kanan), untuk koefisiennya $2,6 < \beta < 3,7$

kemiringan mendekati nol (tanpa ekor). Pada $\beta > 3,7$ mempunyai ekor negatif pada sisi kiri. Di bawah ini dapat dilihat pengaruh β terhadap *cumulative distribution function* :



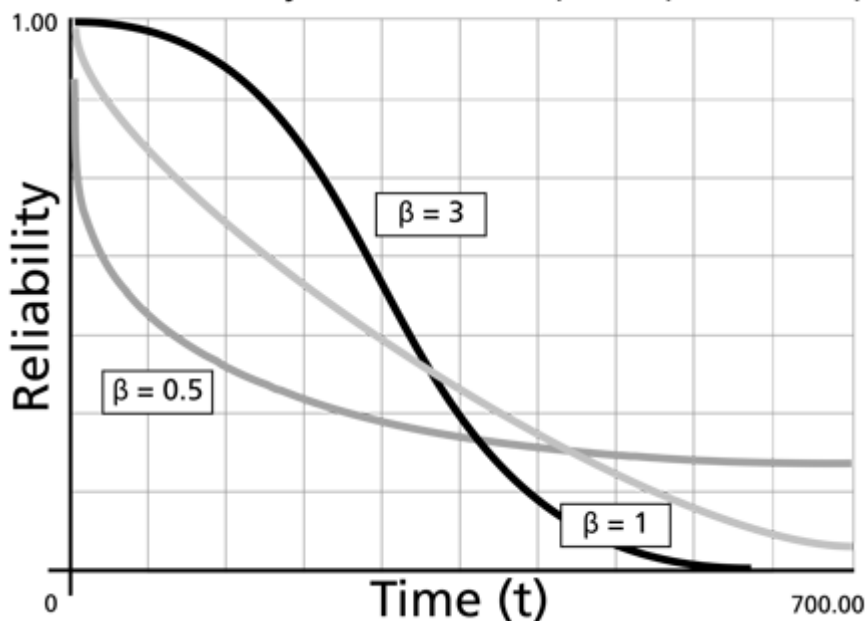
Gambar 2.2. Pengaruh β Terhadap CDF atau $F(t)$ Distribusi Weibull (LDA, 2015)

Gambar di atas menunjukkan efek dari nilai β pada cdf, seperti yang dimanifestasikan dalam plot probabilitas Weibull. Ini mudah untuk melihat mengapa parameter ini kadang-kadang disebut sebagai *slope*. Perhatikan bahwa model diwakili oleh ketiganya garis semua memiliki nilai yang sama. Gambar berikut menunjukkan efek dari berbagai nilai ini pada alur keandalan, yang merupakan analog linier dari plot probabilitas

Pada gambar 2.3. akan ditunjukkan pengaruh β terhadap *reliability*, dengan penjelasan sebagai berikut :

- $R(t)$ menurun tajam pada $0 < \beta < 1$
- Pada $\beta = 1$, $R(t)$ menurun namun kurang begitu tajam dibandingkan pada $0 < \beta < 1$
- Pada $\beta > 1$, $R(t)$, R menurun seiring pertambahan t .. Karena *wear out*, kurva melewati titik tertentu kemudian menurun tajam

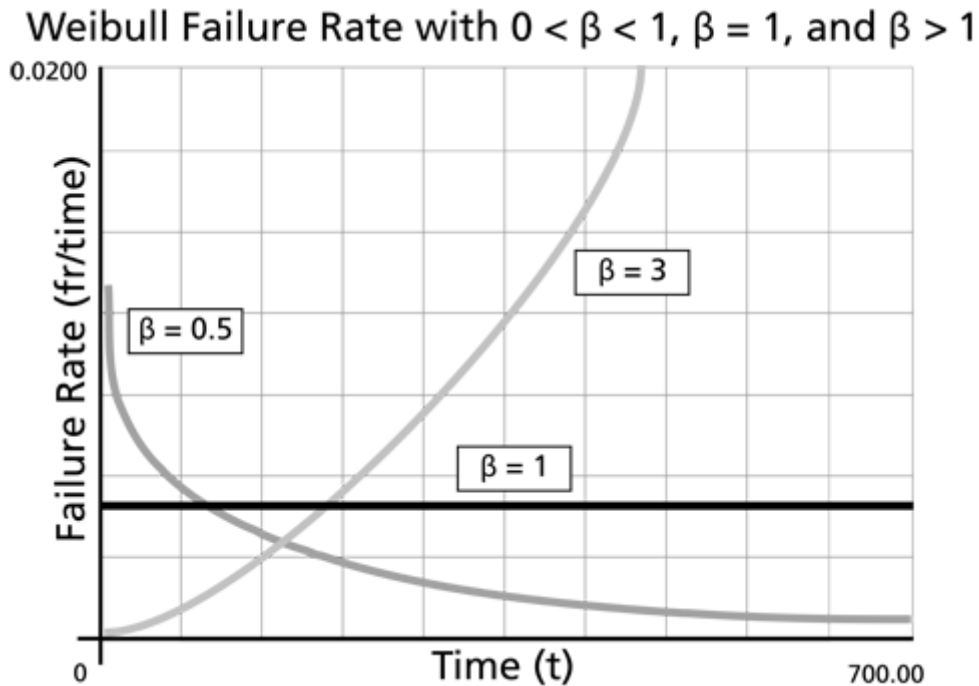
Weibull Reliability Plot with $0 < \beta < 1$, $\beta = 1$, and $\beta > 1$



Gambar 2.3. Pengaruh β Terhadap R Distribusi Weibull (LDA, 2015)

Pengaruh β terhadap *failure rate* dapat dilihat pada gambar 2.4. Parameter $\beta < 1$ akan menunjukkan *failure rate* menurun seiring waktu. Parameter $\beta = 1$ mempunyai *failure rate* konstan, dan Parameter $\beta > 1$ akan menunjukkan *failure rate* naik berdasarkan waktu. *Failure rate* pada $0 < \beta < 1$ akan tidak terbatas pada $T = 0$ atau γ , dan menjadi 0 pada saat $t = \infty$. Karakter seperti ini disebut *early type failure*, untuk kemudian *failure rate* menurun sesuai waktu, yang mengindikasikan masalah pada proses produksi, substandar part dan komponen atau ketidak tepatan dalam

packaging atau shipping. Pada $\beta = 1$, diperoleh nilai *failure rate* konstan, sehingga diperoleh $\lambda(t) = \lambda = 1/\eta$.

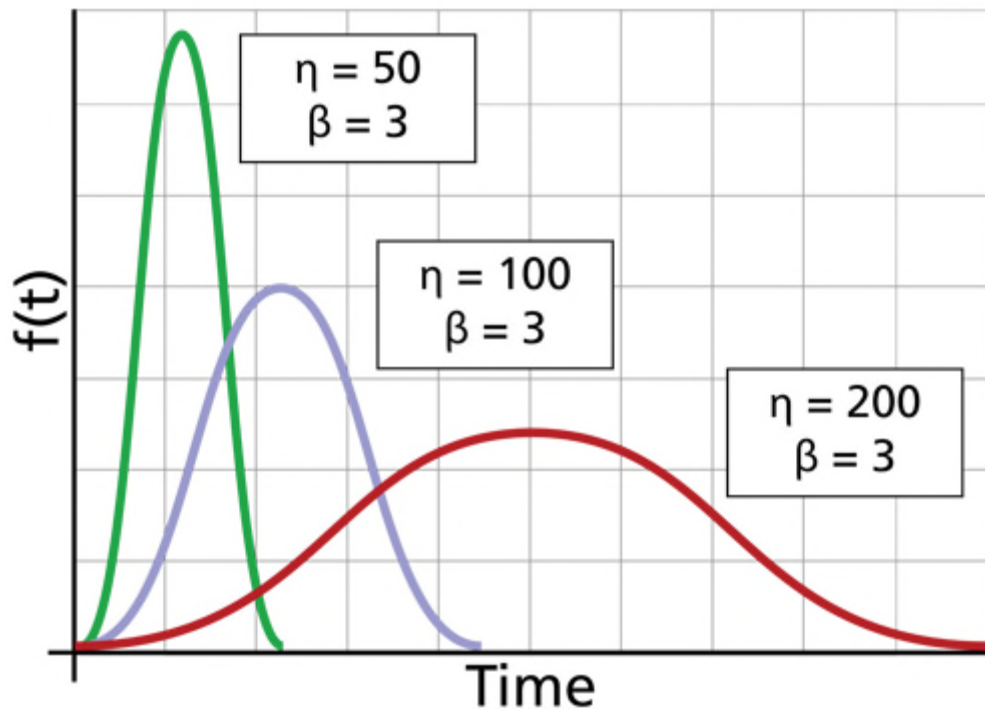


Gambar. 2.4. Pengaruh β Terhadap *Failure Rate* Distribusi Weibull (LDA, 2015)

Sebab $\beta > 1$, $\lambda(t)$ meningkat seiring bertambahnya t dan menjadi cocok untuk mewakili tingkat kegagalan unit yang menunjukkan kerusakan tipe *wear out*. Untuk kurva $1 < \beta < 2$, kurva $\lambda(t)$ adalah cekung, akibatnya *failure rate* meningkat semakin tajam. Bila $\beta = 2$, terdapat hubungan antara $\lambda(t)$ dan t , yang dimulai pada $\lambda(t) = 0$ pada $t = \gamma$ untuk kemudian meningkat dengan slope $2/\eta^2$.

Perubahan *scale parameter* η memiliki efek yang sama pada distribusi sebagai perubahan skala absis. Meningkatnya nilai η ketika pada posisi β konstan efek melebarkan rentang pdf. Karena area di bawah kurva pdf adalah nilai konstan dari satu, "puncak" dari kurva pdf juga akan menurun dengan peningkatan η , seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah.

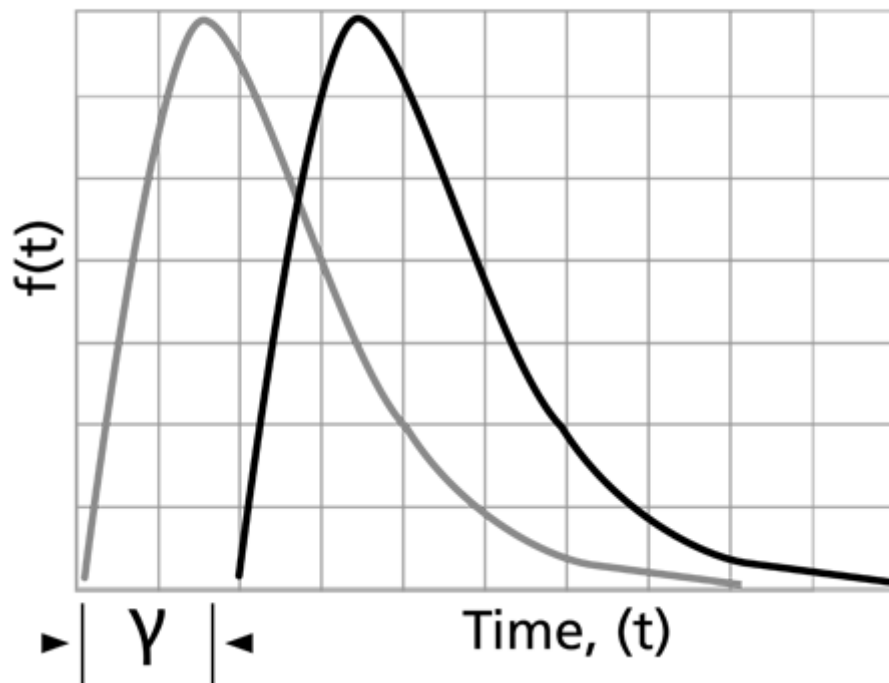
Weibull *pdf* Plot with Varying Values of η



Gambar 2.5. Pengaruh η Terhadap PDF Distribusi Weibull (LDA 2015)

- Jika η ditingkatkan sementara β dan γ tetap sama, distribusi akan membentang ke kanan dan ketinggian akan berkurang, dengan tetap mempertahankan bentuk dan lokasinya.
 - Jika η menurun sementara β dan γ tetap sama, distribusi didorong ke arah kiri (yaitu, menuju awal atau menuju 0 atau γ), dan tingginya meningkat.
 - η memiliki t unit yang sama seperti , jam, mil, siklus, aktuasi, dan lain lain
- Parameter lokasi atau γ , menempatkan lokasi distribusi pada sepanjang absis.

Effect of Location Parameter γ on Weibull *pdf*



Gambar 2.6. Pengaruh γ Terhadap PDF Distribusi Weibull (LDA, 2015)

- Jika $\gamma = 0$, distribusi mulai pada $t = 0$ sebagai awal
- Jika $\gamma > 0$, distribusi mulai pada lokasi γ ke arah kanan dari asal
- Jika $\gamma < 0$, distribusi mulai pada lokasi γ ke arah kiri dari asal
- Parameter γ dapat menunjukkan *time to failure* awal per unit
- Periode 0 ke $+\gamma$ adalah periode operasi bebas failure
- Parameter γ dapat mengasumsikan semua nilai dan memberikan perkiraan waktu paling awal dari kegagalan yang mungkin diamati. Negatif γ dapat menunjukkan bahwa kegagalan telah terjadi sebelum awal tes, yaitu selama produksi, penyimpanan, transit, selama pembayaran sebelum dimulainya misi, atau sebelum penggunaan sebenarnya.

B. Distribusi Normal

Distribusi normal, juga dikenal sebagai distribusi Gaussian, adalah jenis distribusi untuk general purpose yang cukup umum dipergunakan, khususnya untuk pemodelan daya tahan barang habis pakai.

Probability Density Function

PDF untuk distribusi normal adalah sebagai berikut :

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (21)$$

Dengan :

μ : mean of the normal times to failure, juga ditulis sebagai T

σ : standard deviasi times to failure

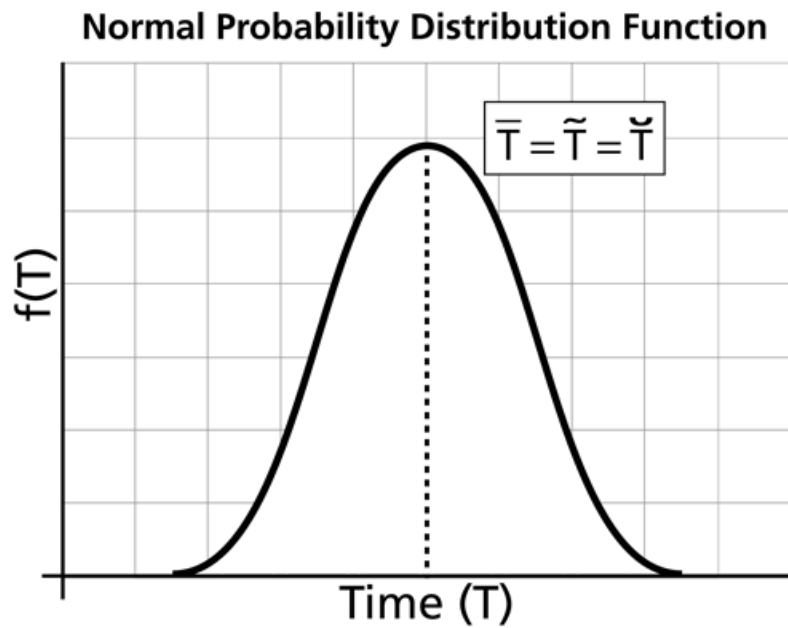
Normal Reliability Function

$$R(t) = \int_t^{\infty} f(x)dx = \int_t^{\infty} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} dx \quad (22)$$

Normal Conditional Reliability

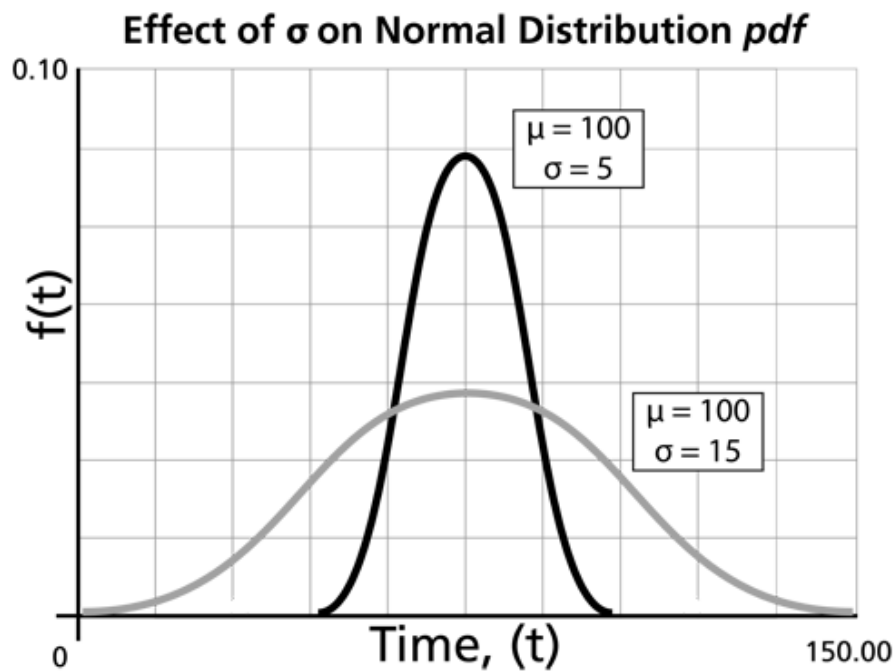
$$R(t|T) = \frac{R(T+t)}{R(T)} \quad (23)$$

Pada pdf, mempunyai *mean* T, yang sama dengan *median*. *Mean* (μ) atau MTTF juga merupakan parameter lokasi pada pdf yang sepanjang absis. Nilai terletak pada $-\infty < T < \infty$.



Gambar 2.7. Pengaruh μ Pada PDF Distribusi Normal (LDA, 2015)

Standar deviasi σ adalah *scale parameter* pdf. Jika σ berkurang, maka pdf akan “tertekan” pada mean atau menjadi lebih pendek dan lebar. Apabila σ meningkat, maka pdf akan “tertarik” sehingga akan menjadi lebih tinggi dan sempit.



Gambar 2.8. Pengaruh σ Pada PDF Distribusi Normal (LDA, 2015)

C. Distribusi Lognormal

Distribusi lognormal biasanya digunakan untuk memodelkan mode kegagalan unit yang mengalami tegangan *fatigue*. Distribusi mempunyai kesamaan dengan distribusi normal. *Random variable* didistribusi secara lognormal jika logaritma random variable terdistribusi secara normal.

Lognormal Probability Density Function

Distribusi pdf mempunyai 2 parameter, dituliskan sebagai berikut :

$$f(t') = \frac{1}{\sigma' \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{t' - \mu'}{\sigma'}\right)^2} \quad (24)$$

dengan t' : $\ln(t)$, t adalah nilai time to failure

μ' : mean dari natural logaritma times to failure

σ' : standar deviasi times to failure

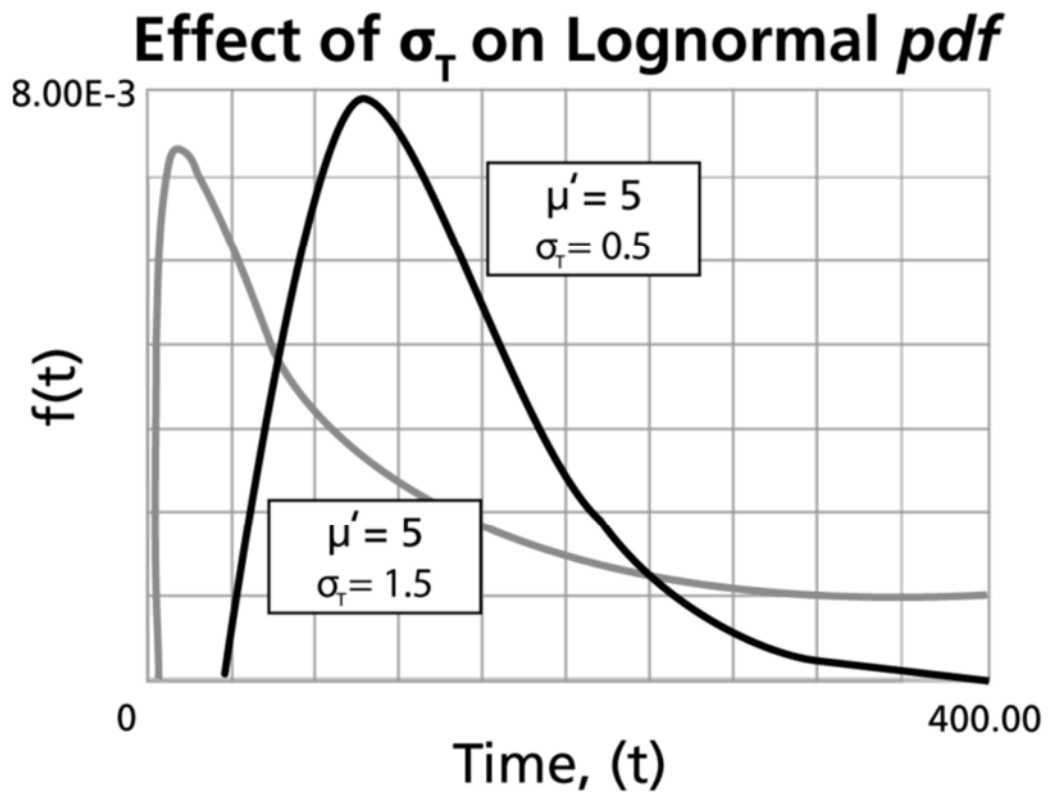
Lognormal Reliability Function

$$R(t) = \int_t^{\infty} f(x) dx = \int_{\ln(t)}^{\infty} \frac{1}{\sigma' \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x - \mu'}{\sigma'}\right)^2} dx \quad (25)$$

Lognormal Conditional Reliability Function

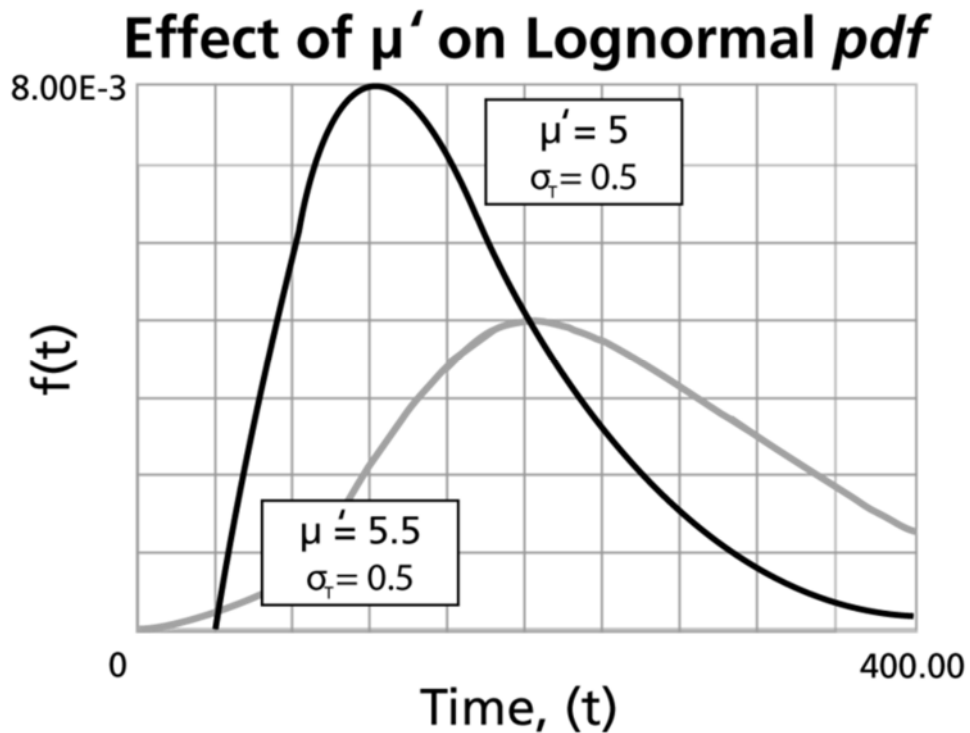
$$R(t|T) = \frac{R(T + t)}{R(T)} \quad (26)$$

Distribusi lognormal adalah distribusi miring ke kanan. Pdf dimulai dari nol, meningkat ke modusnya, dan menurun setelahnya. Tingkat kemiringan meningkat seiring bertambahnya σ' , pada μ' yang tetap



Gambar 2.9. Pengaruh σ' Terhadap PDF Distribusi Lognormal (LDA,2015)

Pada σ' yang tetap, kemiringan pdf akan meningkat sering meningkatnya μ' . Jika σ' lebih dari 1, pdf akan meningkat sangat tajam pada saat awal (mendekati 0) dan menurun tajam seperti pdf weibull pada $0 < \beta < 1$



Gambar 2.10. Pengaruh μ' Terhadap Distribusi Lognormal (LDA, 2015)

2. Memperkirakan *system failure probability* dan *failure consequences*

Perhitungan *system failure probability* memerlukan analisa *reliability* gabungan, dimana desain rangkaian *system* tergantung dari desain *plant*. Penelitian ini mempergunakan *software* Blockshim untuk menghitung rangkaian *reliability system* yang rumit. Sebelum dilakukan simulasi perlu dipahami kembali hubungan sistem keandalan, terutama dalam hal menghitung keandalan gabungan. Menurut Dhillon (2002) disampaikan sebagai berikut :

Keandalan gabungan pada sistem seri :



Gambar 2.11 Rangkaian Seri

$$R_s(t) = R_1(t) \cdot R_2(t) \cdot R_3(t) \cdot \dots \cdot R_n(t) \quad (27)$$

Keandalan gabungan paralel :

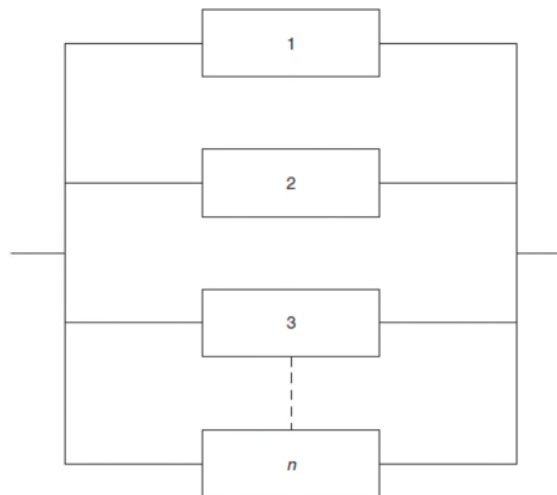
$$R_{ps}(t) = 1 - (1 - R_1)(1 - R_2)(1 - R_3) \dots (1 - R_n) \quad (28)$$

dimana

R_s : keandalan sistem seri

R_{ps} : keandalan sistem paralel

n : jumlah total unit



Gambar 2.12. Rangkaian Pararel

Rangkaian gabungan *M-out of N Network*

Terdapat model keandalan gabungan dengan m unit yang harus beroperasi dengan n unit total yang tersedia, yang disebut gabungan sistem *M-out of N network* (Dhillon, 2006)

$$R_{m/n} = \sum_{j=m}^n \binom{n}{j} R^j (1 - R)^{n-j} \quad (29)$$

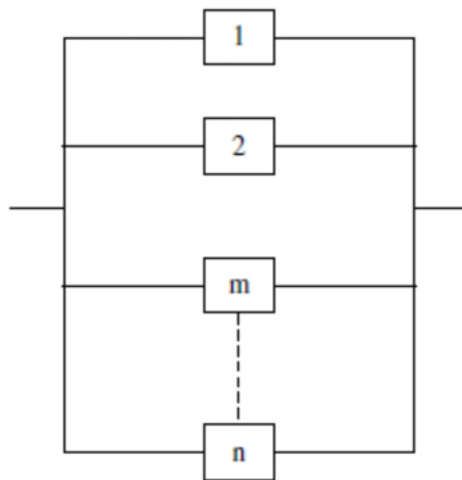
dengan

$$\binom{n}{j} = \frac{n!}{(n-j)!j!} \quad (30)$$

dengan :

m : jumlah unit yang harus beroperasi

n : jumlah unit tersedia

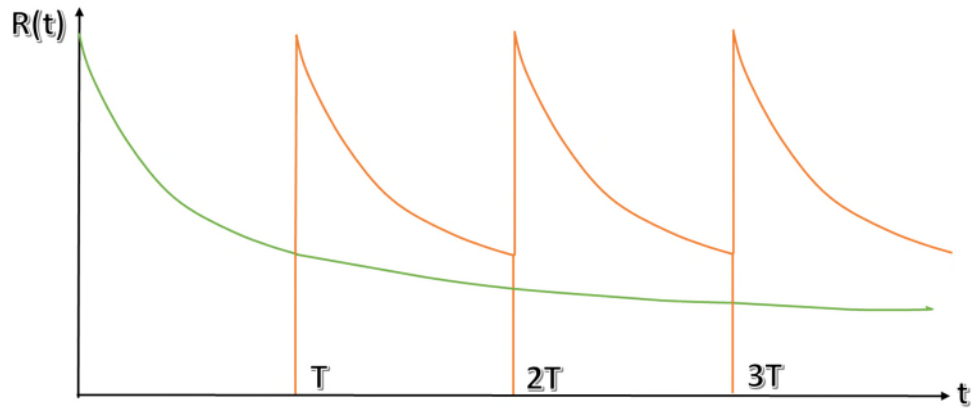


Gambar 2.13 Rangkaian *M out of N Network*

Persamaan m out of n network di atas hanya untuk *identical unit*. Pada kenyataannya tidak terdapat *equipment* yang sama sekali identik sehingga persamaan tersebut tidak dapat dipergunakan. Dalam penelitian ini untuk mempermudah penghitungan reliability rangkaian m out of n dengan *non identical unit* dipergunakan simulasi dengan software

3. Estimasi *Failure Probability Parameter*

Sesudah simulasi *reliability plant* dan **system** dilakukan, maka akan diperoleh parameter λ dan η . Parameter tersebut menjadi dasar penghitungan *reliability* dan *unreliability plant*.



Gambar 2.14 *Reliability Single Component vs Time* (Gosh & Roy 2007)

4. Memperhitungkan *economic failure consequences*

Perhitungan risiko melibatkan *consequences* yang berimbas kepada faktor ekonomi (Hameed, 2014), yaitu :

a. *Economic Consequences of Asset Lost* (ECAL)

ECAL adalah perhitungan konsekuensi ekonomi akibat kehilangan aset yang disebabkan oleh kejadian suatu *failure*.

$$ECAL = PDOP \times EZ \times AD \quad (31)$$

dimana

PDOP : *probability of damage due to overpressure*

EZ : *effected zone due to overpressure*

AD : *asset density*

Penelitian tersebut mengambil obyek pada instalasi LNG yang merupakan rangkaian seri beberapa bejana tekan dengan media gas hidrocarbon yang mempunyai risiko tinggi terhadap ledakan akibat *overpressure*. Penelitian yang

dilakukan dalam tesis ini mengambil obyek yang berbeda dimana risiko terhadap ledakan akibat *overpressure* bukan menjadi penyebab *consequences* dominan, sehingga formula di atas disesuaikan menjadi

$$ECAL = PDOF \times AV \quad (32)$$

Dimana

PDOF : *probability failure* yang menyebabkan hilangnya asset

AV : *asset value*, nilai asset secara finansial

b. *Economic Consequences of Human Health Loss* (ECHHL)

Suatu kejadian akibat *failure* dapat berakibat kepada konsekuensi keselamatan dan kesehatan personil yang saat itu terlibat dalam proses operasi sebuah *plant*. Risiko terhadap keselamatan dan kesehatan personil dihitung dengan formula sebagai berikut :

$$ECHHL = PDOP \times EZ \times PD \times CF \quad (33)$$

dimana

PDOP : *probability of damage due to overpressure*

EZ : *effected zone due to overpressure*

AD : *asset density*

PD : *population desity*

CF : *cost of injury or fatality*

Persamaan tersebut di atas dapat disederhanakan menjadi

$$ECHHL = PDOP \times N \times CF \quad (34)$$

Dimana

N : populasi dalam area yang mungkin terdampak oleh failure

c. *Economic Consequences of Production Loss (ECPL)*

Konsekuensi dari hilangnya kesempatan untuk memproduksi akibat proses pemulihan akibat terjadinya failure diperhitungkan dengan formula.

Dalam industri pembangkit listrik, ECPL dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$ECPL = SDT \times DC \times SP \times DMN \times NCF \quad (35)$$

dimana

SDT : *shutdown time* , h

DC : *derating capacity*, yaitu % kehilangan kapasitas output produksi dihitung dari daya mampu netto

SP : harga jual listrik, Rp/kWh

DMN : kW

NCF : *Nett Capacity Factor*, yaitu % produksi yang diserap oleh jaringan dihitung dari daya mampu netto, %

d. *Economic Consequences of Shutdown Inspection and Maintenance Cost (ECSIM)*

ECSIM merupakan *total cost* dalam melakukan *shutdown inspection* atau overhaul pada semua peralatan yang memerlukan *shutdown* untuk proses overhaul. Biaya terdiri dari biaya persiapan, biaya inspeksi dan pemeliharaan, biaya material dan biaya *technical support*. Formulasi biaya tersebut adalah sebagai berikut :

- Biaya perencanaan dan pengontrolan proyek (Cp)

$$Cp = C1p \times t1 \quad (36)$$

Dimana Cp adalah biaya persiapan, C1p adalah biaya tenaga kerja untuk aktivitas persiapan (Rp/jam) dan t1 adalah durasi persiapan dalam jam

- Biaya Inspeksi, merupakan biaya aktivitas pemeriksaan yang memerlukan skilled person khusus

$$Ci = n \times Cli \times t2 + Cie \times t3 \quad (37)$$

Dimana Cli adalah *cost* dari *skilled person* per jam, n adalah jumlah *skilled person*, Cie adalah *cost* dari inspeksi equipment per jam.

- Biaya Pemeliharaan dan Material (Cimm)

$$C_m = n \times C_{lm} \times t_4 + C_{sp} \quad (38)$$

Dimana C_{lm} adalah biaya tenaga kerja per jam (Rp/jam), n adalah jumlah pekerja, t_4 adalah durasi pekerjaan (jam) dan C_{sp} adalah biaya material.

- Biaya *technical support* (Cts), adalah biaya jasa atau biaya personel khusus untuk menyediakan aktivitas pendukung yang khusus yang diperlukan dalam proses pemulihan, misalkan biaya *repair workshop*, biaya konsultan dan lain lain

Dari biaya biaya tadi di atas dapat disimpulkan menjadi economic consequences of shutdown inspectin and maintenance (ECSIM) dengan formulasi

$$ECSIM = C_p + C_i + C_{imm} + C_{ts} \quad (39)$$

Dari perhitungan langkah no. 4 dan 5 dilakukan penghitungan *Total Economic Consequences of Failure* (EC_T)

$$EC_T = \max (ECAL + ECHHL)_i + \sum_{i=1}^n ECSIM + ECPL \quad (40)$$

5. Menentukan Risiko

Setelah ditentukan $RISK_{acceptable}$, yang merupakan resiko dalam bentuk nilai uang yang masih dapat diterima, maka dihitunglah $RISK_e$ yaitu *estimated operational risk*

$$RISK_e = \text{Event likelihood} \times \text{Event Consequence} \quad (41)$$

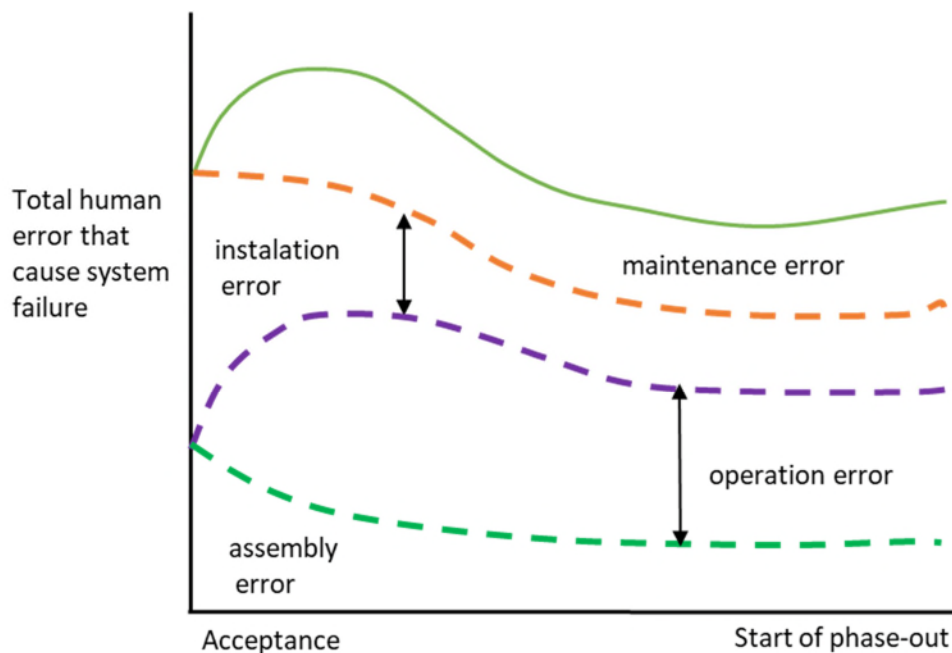
$$RISK_e = F_{sys}(t) \times \sum \text{Economic consequence of failure} (\$) \quad (42)$$

$$RISK_e = (1 - R_{sys}(t)) \times \sum \text{Economic consequence of failure} (\$) \quad (43)$$

Penghitungan risiko (RISKe) adalah dengan cara perkalian antara *reliability plant* (R_{syst}) dengan *Economic consequences of failure* (Hameed, 2015). Hal ini perlu dikaji lebih mendalam didalam penelitian ini, karena *consequences* perlu dibreakdown per level *system* (atau lebih rendah dari pada level *plant*) untuk mendapatkan RISKe yang lebih akurat.

2.2.2 Kontribusi faktor *human error* dan integrasi ke modul proses berbasis risiko

Penelitian sebelumnya tentang penentuan interval *shutdown* untuk pemeliharaan berdasarkan risiko telah dikembangkan. Penentuan interval pemeliharaan memerlukan target *reliability*.



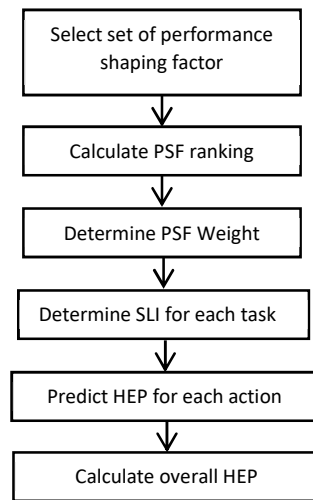
Gambar 2.15 Empat Tipe *Human Error* dalam Sistem *Life Cycle* (Dhillon, 2014)

Dalam kegiatan pemeliharaan selalu terdapat faktor *human error* yang pada akhirnya dapat mempengaruhi hasil keandalan peralatan setelah menjalani

pemeliharaan, sehingga diperlukan *upgrade* metodologi penentuan interval *shutdown* untuk pemeliharaan dengan langkah :

1. Seleksi peralatan berdasarkan *operation criticality*.
2. Penentuan *modeling system failure* dengan memperhitungkan *human error*.

Human error akan dianalisa dan dihitung sehingga diperoleh nilai *probability human error per task* yang dilakukan dalam overhaul. *Probability human error* ini akan menjadi koreksi dalam penghitungan persamaan *reliability plant* atau *system*, tergantung dari task pemeliharaan apa saja yang dilakukan dalam overhaul terakhir. Dalam penelitian ini digunakan metode *Succes Likelihood Indexing Methode* (SLIM), dengan skema langkah sebagai berikut :



Gambar 2.16 Metodologi SLIM

Dalam langkah langkah tersebut digunakan persamaan seperti di bawah ini sampai selesai kalkulasi overall HEP

$$SLI_k = \sum R_{jk} \times W_j \tag{44}$$

$$\text{LOG}(\text{HEP}) = a \times \text{SLI} + b \tag{45}$$

dimana

Rjk : scale *rating task* k pada PSF i

Wj : bobot normalisasi

SLI : *Succes Likelihood Index task* k

HEP : *human error probability*

Dari persamaan no 45, diperoleh HEP sehingga dapat dihitung *probability human error* dengan persamaan sebagai berikut :

$$P = \prod_{k=1}^m (1 - HEP_k) \quad (46)$$

Sehingga dapat dikombinasikan antara keandalan dan faktor *human error* dalam persamaan sebagai berikut :

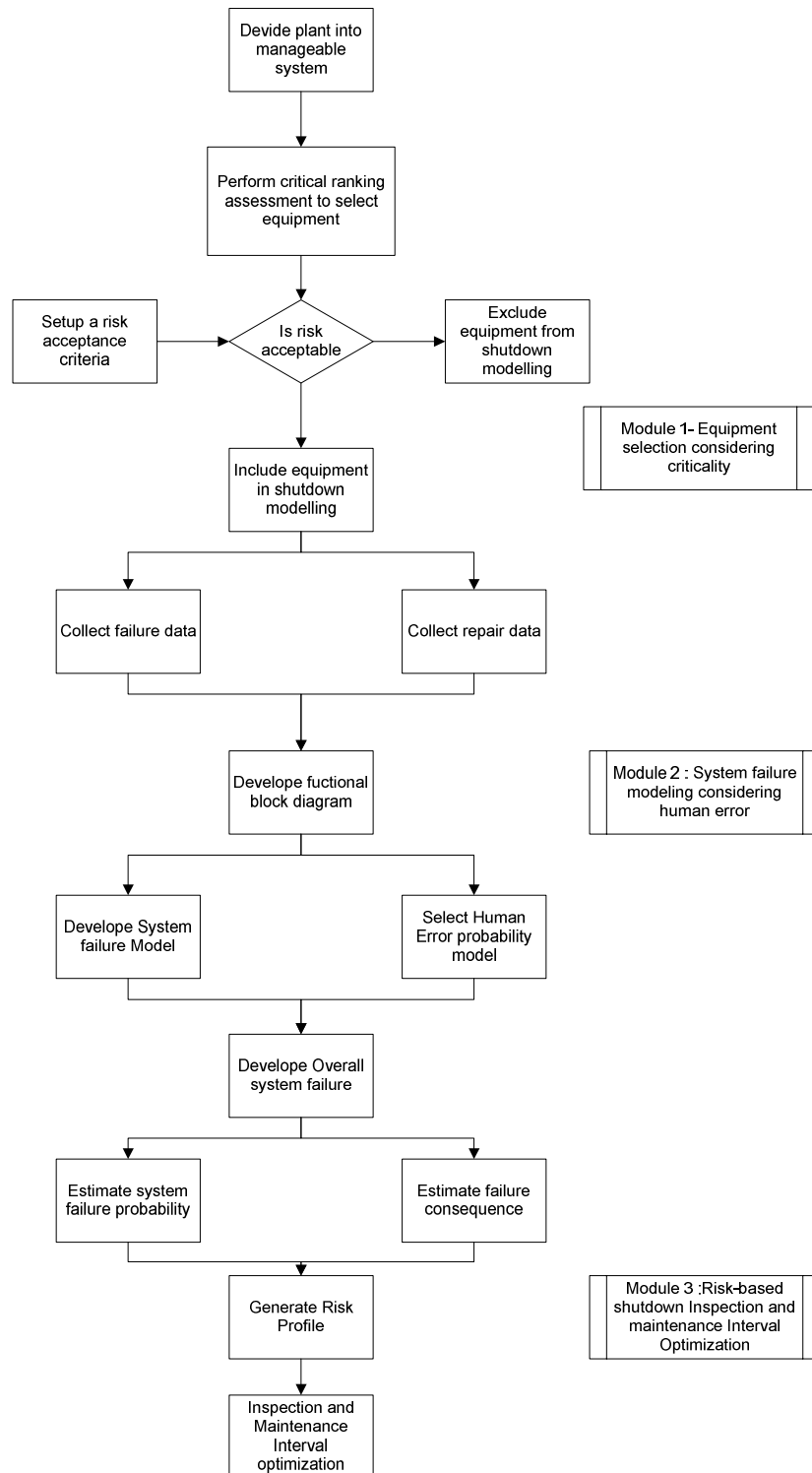
$$R_{gab}(t) = R_{syst}(t) \cdot p \quad (47)$$

$$F_{sys}(t) = 1 - R_{gab}(t) = \Pr \{T < t\} \quad (48)$$

Substitusi (47) dan (48)

$$F_{sys}(t) = 1 - R_{syst}(t) \cdot p \quad (49)$$

Flowchart dari 2.2.1 dan 2.2.2. adalah sebagai berikut :



Gambar 2.17 Flow Chart Integrasi *Human Error Probability Model*

2.2.3 Perhitungan aspek finansial ke proses berbasis resiko

Penelitian yang dijelaskan pada (Hammed, 2014) dan (Hammed, 2015) mempunyai kelemahan, yaitu interval akan sangat ditentukan subyektifitas pemegang kebijakan perusahaan dalam penentuan *acceptable risk*. Penelitian tentang penentuan *interval shutdown* untuk peralatan turbine dengan optimasi mempertimbangkan *total cost* dan profit telah dikembangkan (Rusin, 2012).

Total cost (Kc) dan *Total cost per unit time* (Kc'') diperoleh dari :

$$Kc = Kr + R \quad (50)$$

$$Kc'' = \frac{Kc}{t} \quad (51)$$

$$Kr = OHC + \sum_{k=1}^n Rc \quad (52)$$

Dengan :

Kr : *total mainteance cost*

Rc : biaya rutin pemeliharaan per bulan

R : resiko

NPHR adalah nilai energi bahan bakar (Kcal) yang diperlukan untuk menghasilkan energi listrik (KWh). NPHR dapat dirumuskan sebagai :

$$NPHR = \frac{HHV \cdot Qb}{TE} \quad (53)$$

$$TE = DMN \times CF \times t \quad (54)$$

Penghitungan pendapatan (Zbrutto) karena proses transfer energy dapat dituliskan sebagai berikut:

$$Zbrutto = TE \times BPP \quad (55)$$

Penghitungan pendapatan netto (Z) setelah dikurangi pengeluaran belanja bahan bakar adalah :

$$Z = Z_{\text{brutto}} - Q_b \times CP \quad (56)$$

dimana

HHV : *High Heating Value* Coal (Kcal/kg)

Q_b : *coal consumption* (t/h)

TE : Transfer energy per jam (KWh)

DMN : Daya Mampu Netto (MW)

CF : capacity factor, yaitu perbandingan antara rata rata beban yang diproduksi dengan DMN

Z_{brutto} : Pendapatan brutto (Rp)

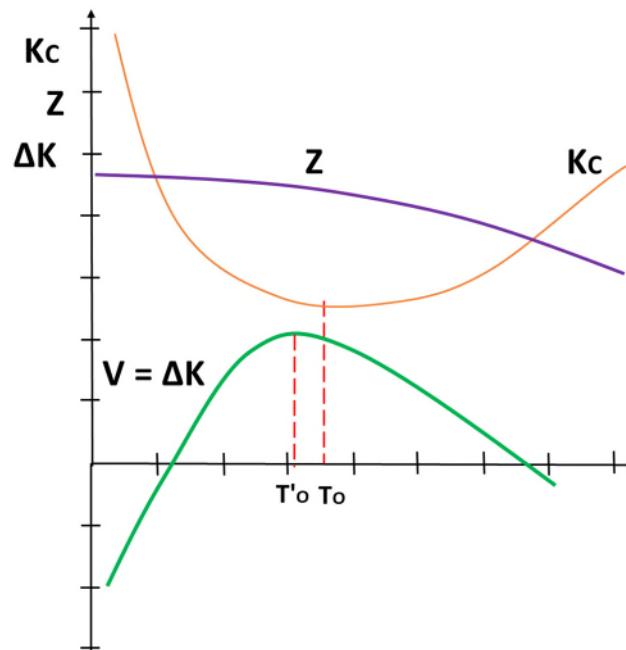
Z_{nett} : Pendapatan netto (Rp)

CP : harga batubara (Rp/kg)

Kemudian ditentukan profit sebagai *object function maximization* (V'')

$$V'' = Z'' - Kc'' \quad (57)$$

Dari V dilakukan maksimasi untuk mendapat interval inspeksi yang paling optimal (to')



Gambar 2.18 Optimasi Akhir

2.2.4 Optimasi Fungsi dengan *Genetic Algorithm* (GA)

Kondisi optimal dari persamaan profit (garis hijau) pada gambar 2.2 ditentukan dengan menggunakan metode GA. GA diilhami oleh ilmu genetika, karena itu istilah yang digunakan dalam GA banyak diadopsi dari ilmu tersebut. Apabila dibandingkan dengan prosedur pencarian dan optimasi biasa, GA berbeda dalam beberapa hal (Michalewicz 1996) sebagai berikut :

1. Manipulasi dilakukan terhadap kode dari himpunan parameter (biasa disebut *chromosome*), tidak secara langsung terhadap parameternya sendiri.
2. Proses pencarian dilakukan dari beberapa titik dalam satu populasi, tidak dari satu titik saja.
3. Proses pencarian menggunakan informasi dari fungsi tujuan.
4. Pencariannya menggunakan *stochastic operators* yang bersifat probabilistik, tidak menggunakan aturan deterministik.

Kelebihan GA sebagai metode optimasi adalah sebagai berikut:

1. GA merupakan algoritma yang berbasis populasi yang memungkinkan digunakan pada optimasi masalah dengan ruang pencarian (*search space*) yang sangat luas dan kompleks. Properti ini juga memungkinkan GA untuk melompat keluar dari daerah optimum lokal
2. Individu yang ada pada populasi bisa diletakkan pada beberapa sub-populasi yang diproses pada sejumlah komputer secara paralel. Hal ini bisa mengurangi waktu komputasi pada masalah yang sangat kompleks (Defersha dkk, 2010). Penggunaan sub-populasi juga bisa dilakukan pada hanya satu komputer untuk menjaga keragaman populasi dan meningkatkan kualitas hasil pencarian (Mahmudy, 2009).
3. GA dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah yang kompleks dengan banyak variabel. Variabel tersebut bisa kontinyu, diskrit atau campuran keduanya (Haupt dkk, 2004).
4. GA menggunakan *chromosome* untuk mengkodekan solusi sehingga bisa melakukan pencarian tanpa memperhatikan informasi derivatif yang spesifik dari masalah yang diselesaikan (Haupt dkk, 2004).
5. GA bisa diimplementasikan pada berbagai macam data seperti data yang dibangkitkan secara numerik atau menggunakan fungsi analitis (Haupt dkk, 2004).

Proses dalam GA adalah sebagai berikut :

1. Inisialisasi, yaitu menciptakan individu-individu secara acak yang memiliki susunan gen (*chromosome*) tertentu. *Chromosome* ini mewakili solusi dari permasalahan yang akan dipecahkan.
2. Reproduksi, yaitu untuk menghasilkan keturunan (*offspring*) dari individu-individu yang ada di populasi. Reproduksi dapat berupa *crossover*, yaitu memilih 2 induk (parent) secara acak dari populasi, dengan metode *one cut point*, yaitu secara acak memilih satu titik potong dan menukarkan bagian kanan dari tiap induk untuk menghasilkan *offspring*. Metode reproduksi yang lain adalah dengan mutasi yaitu memilih satu induk secara acak dari populasi dan mengubah nilai gen pada titik tersebut.

3. Evaluasi, yaitu untuk menghitung kebugaran (*fitness*) setiap *chromosome*. Semakin besar *fitness* maka semakin baik *chromosome* tersebut untuk dijadikan calon solusi.
4. Seleksi dilakukan untuk memilih individu dari himpunan populasi dan *offspring* yang dipertahankan hidup pada generasi berikutnya. Fungsi probabilistik digunakan untuk memilih individu yang dipertahankan hidup. Individu yang lebih baik (mempunyai nilai kebugaran/*fitness* lebih besar) mempunyai peluang lebih besar untuk terpilih .
5. Setelah melewati sekian iterasi (generasi) akan didapatkan individu terbaik. Individu terbaik ini mempunyai susunan *chromosome* yang bisa dikonversi menjadi solusi yang terbaik (paling tidak mendekati optimum).

Analisa GA ini akan menggunakan software Matlab.

2.2.5 *Life assessment* pembangkit

Life assessment hanya dilakukan pada equipment utama (turbine, boiler, transformer dan generator) dan menghasilkan output kondisi equipment terkini. Hasil *life assessment* dapat mengintervensi hasil optimasi. Penelitian ini mengasumsikan bahwa tidak terdapat kondisi failure khusus pada equipment utama tersebut sehingga hasil *life assessment* tidak mempengaruhi proses optimasi.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan pada pelaksanaan tesis ini mengikuti diagram alir yang ditunjukkan pada gambar 3. 1.

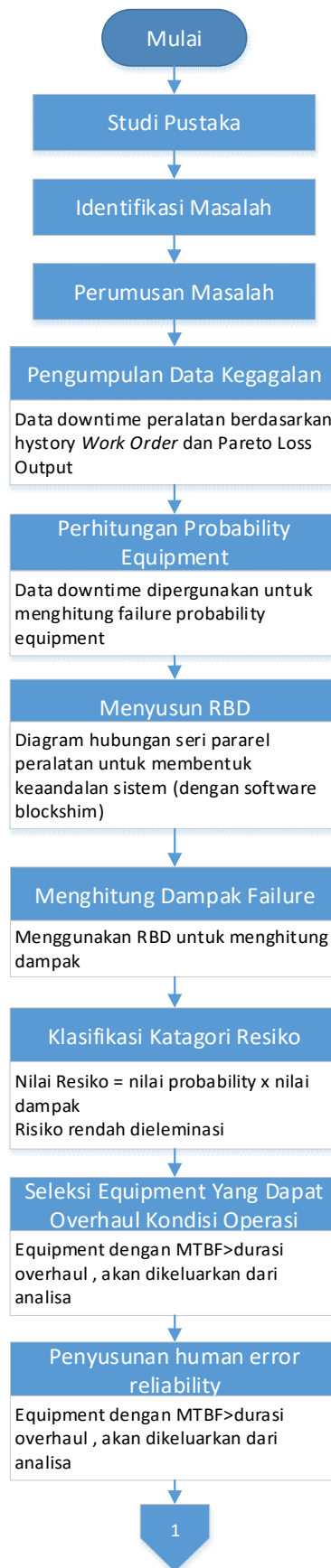
3.2. Pembagian Sistem Unit Pembangkit

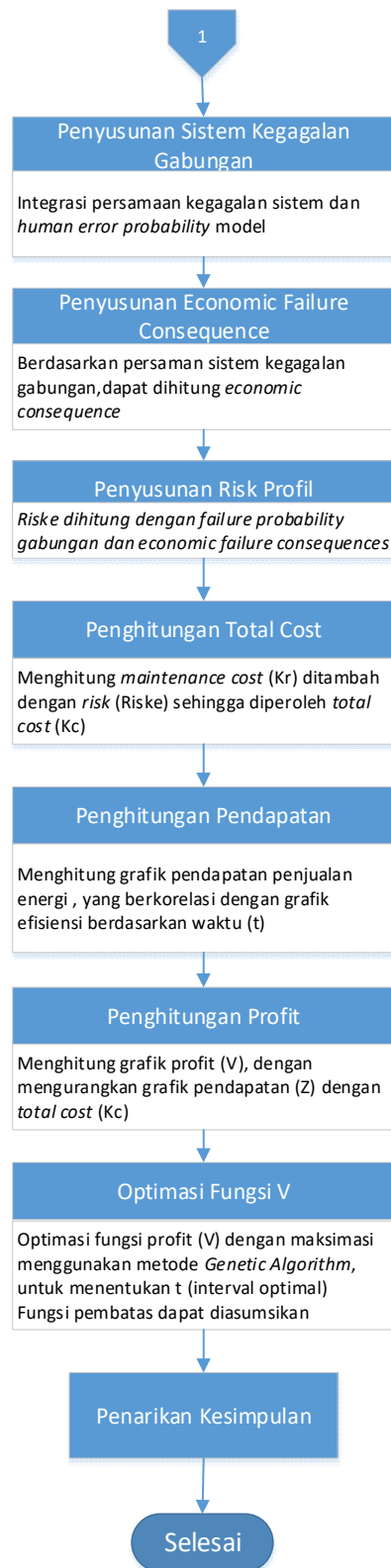
Fokus penelitian adalah peralatan yang mempunyai dampak signifikan terhadap keandalan sistem, sehingga peralatan yang tidak berpengaruh besar terhadap keandalan, ketersediaan dan *safety* tidak dimasukkan.

Untuk mempermudah proses seleksi, dilakukan terlebih dahulu pembagian sistem unit pembangkit, dengan menyusun breakdown plant, dari yang paling tinggi (unit) sampai pada level sub peralatan (210 item).

3.3. Penyusunan Prioritas Berdasarkan Ranking Peralatan

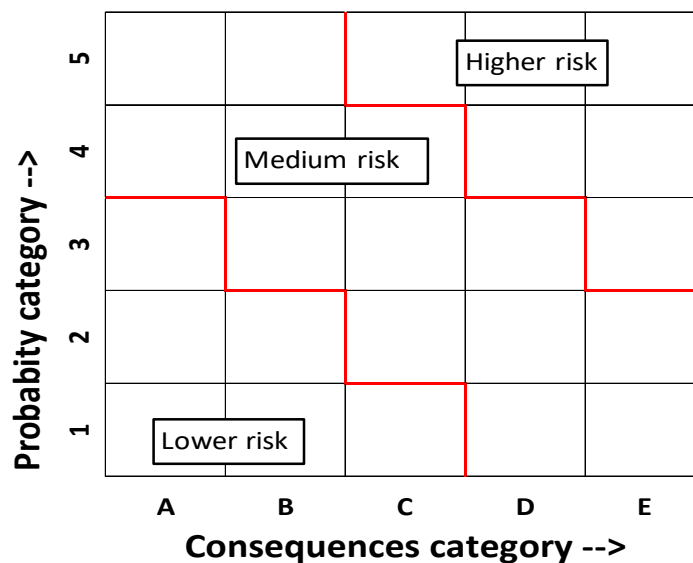
Dalam proses identifikasi, diperlukan analisa terhadap peralatan kritis (*critical equipment*). Theoharidou (2009) menyatakan bahwa *criticality* adalah level kontribusi dari sebuah infrastruktur kepada kumpulan infrastruktur dalam hal regulasi, *public safety*, ekonomi, kesehatan dan lingkungan atau dampak kepada institusi dari *production loss* atau *disruption*. Tujuan analisa adalah untuk menilai level *criticality* peralatan sehingga akan mengurangi penggunaan *resource* pemeliharaan dalam overhaul di kondisi shutdown dengan cara mengeluarkan peralatan dengan level *criticality* tertentu dalam proses penelitian atau proses pemeliharaan saat *shutdown* (overhaul).





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Dalam penelitian ini digunakan *criticality risk matrix*. *Criticality risk matrix* adalah sebuah tabel yang mempunyai beberapa katagori yang memuat “*probability*”, *likelihood*” atau “*frequency*” dari baris dan beberapa katagori yang memuat “ *severity*”, “*impact*”, atau *consequences*” dari kolom, yang menyimpulkan rekomendasi level risiko, kepentingan, prioritas atau tindaklanjut manajemen pada setiap nilai kombinasi baris dan kolom (Cox, 2008). Terdapat beberapa tipe *criticality risk matrix*, diantaranya adalah sebagai gambar berikut



Gambar 3.2. *Criticality Risk Matrix* (API RP 580 2002)

Criticality Risk Matrix sesuai dengan API RP 580 (2002) mempunyai hanya 3 tingkat risiko (*probability x consequences*), terdiri dari :

1. *High Risk* : dengan nilai risiko 5xC , 5xD, 5xE, 4xD, 4xE, 3xE
2. *Medium Risk* : dengan nilai risiko 5xA, 5xB, 4xA, 4xB, 4xC, 3xB, 3xC, 2xC, 2xD, 2xE, 1xD, 1xE
3. *Lower Risk* : dengan nilai risiko 3xA, 2xA, 2xB, 1A, 1xB, 1xC

Criticality Risk Matrix tipe berikutnya sesuai dengan yang digunakan Hameed (2014)

Tabel 3.1. *Criticality Risk Matrix* (Hameed 2014)

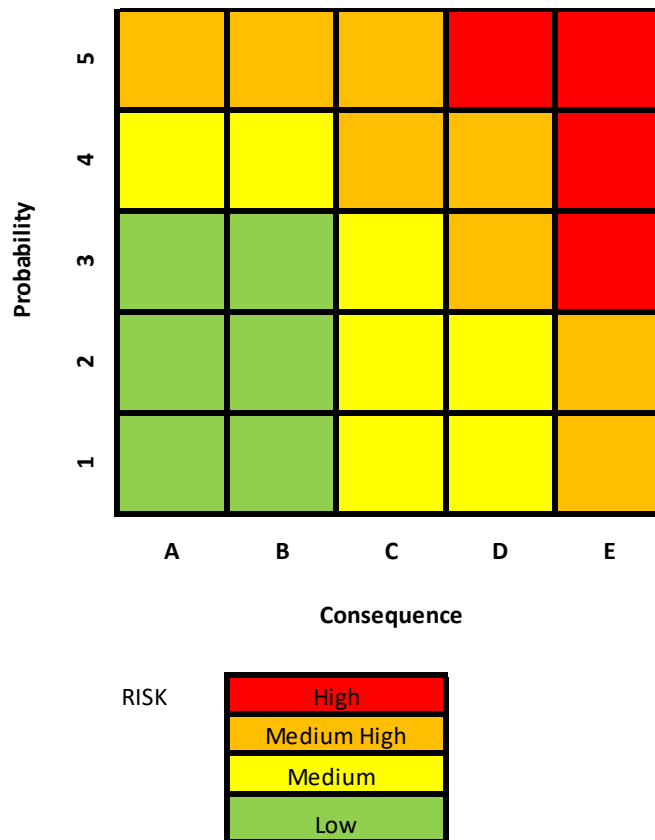
Risk Matrix						
<i>Failure Frequency</i>						
<i>Frequent</i>	5	M	H	H	H	H
<i>Probable</i>	4	L	M	M	H	H
<i>Occasional</i>	3	L	M	M	M	H
<i>Remote</i>	2	L	L	M	M	H
<i>Extremely Unlikely</i>	1	L	L	L	L	M
<i>Consequence Rating</i>		1	2	3	4	5
<i>Asset Damage</i>		<i>Negligible</i>	<i>Minor</i>	<i>Moderate</i>	<i>Major</i>	<i>Catastrophic</i>
<i>Production Loss</i>		<5%	5-10%	10-30%	30-60%	>60%
<i>Safety/Health</i>		<i>Near miss/First Aid</i>	<i>Minor Injury</i>	<i>Injury with Disability</i>	<i>Permanent Disability</i>	<i>Fatalities</i>
<i>Environment</i>		<i>No effect</i>	<i>Minor effect</i>	<i>Moderate effect</i>	<i>Major effect</i>	<i>Massive effect</i>

Pada tipe ini terdapat 3 katagori level risiko (*frequency x consequences*), yaitu :

1. *High Risk* : 5x2, 5x3, 5x4, 5x5
2. *Medium Risk* : 5x1, 4x2, 4x3, 3x2, 3x3, 3x4, 2x3, 2x4, 1x5
3. *Low Risk* : 4x1, 3x1, 2x1, 2x2, 1x1, 1x2, 1x3, 1x4

API RP 581 mempunyai *Criticality Risk Matrix* dan kriteria tersendiri, sesuai tabel 3.2. di bawah ini :

Tabel 3.2. *Criticality Risk Matrix* API RP 581 (2008)



Pada tipe ini terdapat 4 katagori level risiko dengan nilai *probability x consequences* sebagai berikut :

1. High : 5xD, 5xE, 4xE, 3xE
2. Medium High : 5xA, 5xB, 5xC, 4xC, 4xD, 2xE, 1xE
3. Medium : 4xA, 4xB, 3xC, 2xC, 2xE, 1xC, 1xD
4. Low : 3xA, 3xB, 2xA, 2xB, 1xA, 1xB

Dalam hal penentuan tingkat kemungkinan dan tingkat dampak API RP 581 (2008) membagi ke dalam 2 katagori, yaitu :

1. *Probability* dan *Area Based Consequence*, yaitu dengan mempertimbangkan *probability* berdasarkan *total damage factor Df* dan luasan area terdampak apabila terjadi *failure CA*

Tabel 3.3. *Probability dan Area Based Consequence* API RP 581 (2008)

Probability Category		Consequence Category	
Category	Range	Category	Range (m2)
1	$D_{f-total} \leq 2$	A	$CA \leq 9,29$
2	$2 < D_{f-total} \leq 20$	B	$9,29 < CA \leq 92,9$
3	$20 < D_{f-total} \leq 100$	C	$92,9 < CA \leq 279$
4	$100 < D_{f-total} \leq 1000$	D	$279 < CA \leq 929$
5	$D_{f-total} > 1000$	E	$CA > 929$

2. *Probability dan Financial Based Catagory*, yaitu dengan mempertimbangkan *probability* berdasarkan *total damage factor Df* dan konsekuensi finansial akibat terjadinya *failure*.

Tabel 3.4. *Probability dan Financial Based Consequence* API RP 581 (2008)

Probability Category		Consequence Category	
Category	Range	Category	Range (\$)
1	$D_{f-total} \leq 2$	A	$FC \leq 10,000$
2	$2 < D_{f-total} \leq 20$	B	$10,000 < FC \leq 100,000$
3	$20 < D_{f-total} \leq 100$	C	$100,000 < FC \leq 1,000,000$
4	$100 < D_{f-total} \leq 1000$	D	$1,000,000 < FC \leq 10,000,000$
5	$D_{f-total} > 1000$	E	$FC > 10,000,000$

Df (damage factor) mencerminkan tingkat kekhawatiran relatif terhadap komponen berdasarkan asumsi yang dinyatakan di masing-masing persyaratan (API RP 581 2008).

Tipe selanjutnya adalah *Criticality Risk Matrix* dari Lam. Kep. Dir. PT.PJB (2014), sesuai tabel berikut :

Tabel 3.5. *Criticality Risk Matrix* (Lam. Kep. Dir. PT.PJB 2014)

Tingkat Kemungkinan	Sangat Besar	5	Moderat	Moderat	Tinggi	Ekstrem	Ekstrem
	Besar	4	Rendah	Moderat	Tinggi	Ekstrem	Ekstrem
	Sedang	3	Rendah	Moderat	Tinggi	Tinggi	Ekstrem
	Kecil	2	Rendah	Rendah	Moderat	Tinggi	Ekstrem
	Sangat Kecil	1	Rendah	Rendah	Moderat	Tinggi	Ekstrem
			1	2	3	4	5
			Tidak signifikan	Minor	Medium	Signifikan	Malapetaka
			Tingkat Dampak				

Pada tipe ini terdapat 4 katagori level risiko (kemungkinan x dampak), yaitu :

1. Ekstrem : 5x4, 5x5, 4x4, 4x5, 4x5, 2x5, 1x5
2. Tinggi : 5x3, 4x3, 3x3, 3x4, 2x4, 1x4
3. Moderat : 5x1, 5x2, 4x2, 3x2, 2x3, 1x3
4. Rendah : 4x1, 3x1, 2x1, 1x1, 2x2, 1x2

Banyak perusahaan mempunyai kebijakan tersendiri terkait kriteria risiko korporat, *safety level*, risiko *environment* dan finansial (API RP 580, 2002). Kriteria risiko akan dipergunakan untuk membuat keputusan pemeliharaan berbasis resiko. Karena setiap perusahaan mempunyai definisi yang berbeda, maka keputusan manajemen risiko dapat bervariasi. Atas dasar pernyataan tersebut, *criticality risk matrix* akan menggunakan *matrix* dan kriteria umum risiko (H, M, L, E) sesuai dengan Lampiran Keputusan Direksi PT. PJB No. 128.K/010/DIR/2014 (2014).

Tabel 3.6. Tingkat Risiko dan Kriteria Umum (Lam. Kep. Dir. PT.PJB 2014)

Skala	Tingkat Risiko & Kriteria Umum
I	<p>Risiko Rendah: Risiko dinilai tidak signifikan berpengaruh terhadap sasaran, dan tidak perlu tindakan penanganan (mitigasi) tertentu, karena pengendalian yang ada sudah melekat dalam proses bisnis yang ada, dan efektif mengendalikan risiko.</p>
II	<p>Risiko Moderat: Risiko dinilai mempunyai pengaruh terhadap sasaran, namun mekanisme kontrol yang ada masih dapat mengendalikannya. Meskipun demikian, apabila risiko tersebut berpotensi (cenderung) meningkat ke tingkat risiko tinggi, maka diperlukan langkah penanganan (mitigasi) tertentu.</p>
III	<p>Risiko Tinggi: Risiko dinilai menghambat pencapaian sasaran, dan mekanisme pengendalian yang ada belum cukup mengendalikan risiko tersebut. Diperlukan langkah penanganan (mitigasi) untuk sekurang-kurangnya menurunkan tingkat ke Moderat</p>
IV	<p>Risiko Ekstrem: Risiko dinilai berpotensi menggagalkan pencapaian sasaran. Apabila risiko ini diambil, wajib dilakukan penanganan (mitigasi) dan perhatian khusus seta detail, dikarenakan sudah berada di atas batas toleransi risiko Perusahaan.</p>

Pengkatagorian tingkat kemungkinan adalah sesuai tabel berikut ini :

Tabel 3.7. Tingkat Kemungkinan Risiko (Lam. Kep. Dir. PT.PJB 2014)

Parameter Risiko		Nilai	Probabilitas	Deskripsi Kualitatif	Insiden Sebelumnya
E	Sangat Besar	5	>90%	Hampir dapat dipastikan akan	Terjadi > 12 kali dalam rentang
D	Besar	4	70% - 90%	Kemungkinan besar akan terjadi	Terjadi 2 sampai dan 12 kali dalam rentang waktu
C	Sedang	3	>30% - <70%	Kemungkinan sama antara akan terjadi dan tdk	Terjadi 1 kali dalam rentang waktu 1 tahun terakhir
B	Kecil	2	10% - 30%	Kemungkinan kecil akan terjadi	Tdk pernah terjadi dalam rentang waktu antara 2 dan 4 tahun
A	Sangat Kecil	1	<10%	Hampir dapat dipastikan tdk akan	Tdk pernah terjadi dalam rentang waktu 5 tahun

Pengkatagorian tingkat dampak yang dipergunakan oleh korporat adalah sesuai tabel berikut ini :

Tabel 3.8. Tingkat Dampak Risiko (Lam. Kep. Dir. PT.PJB 2014)

No.	KATAGORI/PARAMETER RISIKO	TDK SIGNIFIKAN	MINOR	MEDIUM	SIGNIFIKAN	MALAPETAKA
	KRITERIA UMUM	Dampak risiko dapat diterima, atau termitigasi dengan aktifitas rutin.	Dampak risiko dapat diterima, atau dapat dikelola dengan effort minimal.	Dampak risiko berpotensi menurunkan sasaran perusahaan. Diperlukan penanganan/mitigasi.	Dampak risiko berpotensi menghambat sasaran perusahaan. Wajib dilakukan penanganan khusus untuk memitigasinya.	Dampak risiko berpotensi menggagalkan sasaran perusahaan. Wajib dilakukan penanganan khusus.
1	KEPEMIMPINAN :		Ketdkpuasan sekelompok pegawai	Protes pegawai yang melibatkan Serikat Pekerja.	Demo pegawai dengan pemogokan terbatas.	Terjadi mogok kerja dalam skala luas.
	A. SDM	Keluhan pegawai secara individu.				
	B. INSIDEN	Insiden memerlukan penanganan oleh atasan langsung.	Insiden memerlukan penanganan oleh pihak manajemen (internal).	Insiden memerlukan penanganan oleh pihak independen (eksternal).	Insiden membutuhkan penjelasan ke pihak berwajib/ Pemerintah.	Insiden menimbulkan permasalahan/ tuntutan hukum.
	C. CITRA/REPUTASI	Dampak tdk berarti, tdk menimbulkan gangguan operasional permanen.	Dampak minimum berupa komplain atau ketidakpuasan, tdk mengganggu operasional bisnis.	Komplain, ketdkpuasan, demonstrasi dan sorotan media memicu tanggapan stakeholder, operasional bisnis terganggu.	Sorotan media yang luas di daerah, memicu tanggapan pemerintah, operasional bisnis terhenti beberapa saat, diperlukan penanganan segera.	Sorotan secara nasional, dibutuhkan kebijakan khusus pemerintah, ancaman terhadap bisnis jangka panjang
	D. KEPATUHAN	Pelanggaran hukum dengan pengaduan resmi, memerlukan pembetulan standar.	Pelanggaran hukum yang mengakibatkan tuntutan, kegagalan memenuhi audit standar.	Pelanggaran hukum yang mengakibatkan tuntutan, kehilangan sertifikat standar internasional.	Pelanggaran hukum yang mengakibatkan tuntutan, kehilangan beberapa sertifikat standar	Pelanggaran hukum yang mengakibatkan pidana dan kehilangan ijin operasi.
TDK DITOLERIR						
2	PROSES BISNIS INTERNAL:					
	a. K-3/ Critical Asset	Kerusakan critical asset hanya membutuhkan perbaikan minor	Kerusakan critical asset hanya membutuhkan perbaikan hingga 1 bulan	Kerusakan critical asset hanya membutuhkan perbaikan hingga 3 bulan	Kerusakan critical asset hanya membutuhkan perbaikan hingga 3-6 bulan	Kerusakan critical asset hanya membutuhkan perbaikan > 6 bulan atau penggantian.

Tabel 3.8. Tingkat Dampak Risiko (Lam. Kep. Dir. PT.PJB 2014) Lanjutan

	KATEGORI/PARAMETER RISIKO	TDK SIGNIFIKAN	MINOR	MEDIUM	SIGNIFIKAN	MALAPETAKA
No.	KRITERIA UMUM	Dampak risiko dapat diterima, atau termitigasi dengan aktifitas rutin.	Dampak risiko dapat diterima, atau dapat dikelola dengan effort minimal.	Dampak risiko berpotensi menurunkan sasaran perusahaan. Diperlukan penanganan/mitigasi.	Dampak risiko berpotensi menghambat sasaran perusahaan. Wajib dilakukan penanganan khusus untuk memitigasinya.	Dampak risiko berpotensi menggagalkan sasaran perusahaan. Wajib dilakukan penanganan khusus.
3	PRODUK & LAYANAN a. Supply Tenaga Listrik	Down time sampai dengan 3 jam,	Down time: 3 jam sampai dengan 12 jam.	Down time: 12 jam sampai dengan 1 hari.	Down time: 1 hari sampai dengan 1 minggu	Down time > 1 minggu.
4	KEUANGAN & PASAR:	< Rp 500 juta	Rp 500 juta s.d Rp 50 milyar	Rp 50 milyar s.d Rp 500 milyar.	Rp 500 milyar s.d Rp 5 triliun	> Rp 5 triliun
5	PERTUMBUHAN & PEMBELAJARAN a. Penguasaan Knowledge		Sudah ada dokumen atau catatan mengenai knowledge yang hilang dan ada metode alternatif.	Sudah ada dokumen atau catatan mengenai knowledge yang hilang dan ada beberapa metode alternatif.	Sudah ada dokumen atau catatan mengenai knowledge yang hilang dan tidak ada metode alternatif.	Belum ada dokumen atau catatan mengenai knowledge yang hilang dan tidak ada metode alternatif.
	b. Kapasitas & kapabilitas SDM	Ada beberapa pengganti atau kader dan baru siap untuk mengembalikan kapasitas dan kapabilitas SDM yang hilang dalam kurun waktu < 1 bulan.	Ada pengganti atau kader dan baru siap untuk mengembalikan kapasitas dan kapabilitas SDM yang hilang dalam kurun waktu 1 bulan s.d 6 bulan.	Tidak ada pengganti atau kader dan baru siap untuk mengembalikan kapasitas dan kapabilitas SDM yang hilang dalam kurun waktu 6 bulan s.d 1 tahun.	Tidak ada pengganti atau kader dan baru siap untuk mengembalikan kapasitas dan kapabilitas SDM yang hilang dalam kurun waktu 1 tahun s.d 2 tahun	Tidak ada pengganti atau kader dan baru siap untuk mengembalikan kapasitas dan kapabilitas SDM yang hilang dalam kurun waktu > 2 tahun.
	c. Teknologi Informasi	Kerusakan komputer client (karena virus	Kerusakan LAN Unit/ Kantor Pusat.	Kerusakan infrastruktur WAN	Kerusakan database/ aplikasi/ server.	Data centre di Kantor Pusat tidak berfungsi total

Dari katagori / parameter risiko di atas, yang terdiri dari SDM, insiden, citra/reputasi, kepatuhan, *critical asset*, keselamatan *asset*, keselamatan jiwa, lingkungan, kelangsungan usaha, teknologi, tuntutan hukum pihak ketiga, pencapaian kinerja, supply tenaga listrik, *opportunity loss*, penguasaan *knowledge*, kapasitas dan kapabilitas SDM dan teknologi informasi dilakukan seleksi kembali dengan melihat setiap kriteria untuk memilih katagori/parameter mana yang perlu digunakan untuk tujuan penelitian ini. Diperoleh katagori/parameter risiko yaitu : *critical asset*, keselamatan jiwa, lingkungan, teknologi, *supply* tenaga listrik dan *opportunity loss*, sehingga tabel dapat direvisi menjadi seperti tabel 3.9.

Critical asset, yaitu menentukan nilai kekritisannya sebuah *equipment* berdasarkan seberapa lama diperlukan waktu untuk perbaikan atau penggantian. Semakin panjang waktu perbaikan/penggantian, semakin dianggap sebagai kritis. Umumnya dikarenakan *equipment* atau komponen

1. tersebut tidak dapat diproduksi secara lokal. Kriteria ini cenderung dinilai berdasarkan *expert opinion* berdasarkan pengalaman.
2. Keselamatan jiwa, yaitu menentukan nilai dampak berdasarkan resiko bahaya keselamatan atau kesehatan terhadap personil apabila terjadi kerusakan sebuah *equipment*.
3. Lingkungan, yaitu menentukan nilai dampak berdasarkan perundang undangan lingkungan hidup yang berlaku.
4. Teknologi, yaitu menentukan nilai dampak berdasarkan ketersediaan teknologi yang dipergunakan untuk proses perbaikan. Apabila teknologi tidak tersedia secara umum, maka nilai dampak akan semakin tinggi. Kriteria ini cenderung dinilai berdasarkan *expert opinion* berdasarkan pengalaman.
5. Supply tenaga listrik, yaitu menentukan nilai dampak berdasarkan *down time* atau waktu *shutdown plant* yang diperlukan untuk perbaikan diluar
6. waktu tunggu material atau komponen. Umumnya dikarenakan proses perbaikan tersebut tidak memerlukan material khusus, namun memerlukan waktu sesuai *Mean Time To Repair (MTTR)*. Perbaikan tidak selalu menyebabkan plant dalam kondisi shutdown, namun waktu untuk setiap

perbaikan yang menyebabkan konsekuensi turunnya kapasitas produksi plant (derating capacity) dapat dikonversi menjadi *downtime*, dengan mempergunakan rumus 57

Tabel 3.9. Kriteria Dampak Risiko Baru

No.	KATEGORI/PARAMETER RISIKO	TDK SIGNIFIKAN	MINOR	MEDIUM	SIGNIFIKAN	MALAPETAKA
	KRITERIA UMUM	Dampak risiko dapat diterima, atau termitigasi dengan aktifitas rutin.	Dampak risiko dapat diterima, atau dapat dikelola dengan effort minimal.	Dampak risiko berpotensi menurunkan sasaran perusahaan. Diperlukan penanganan/mitigasi.	Dampak risiko berpotensi menghambat sasaran perusahaan. Wajib dilakukan penanganan khusus untuk mitigasinya.	Dampak risiko berpotensi menggagalkan sasaran perusahaan. Wajib dilakukan penanganan khusus.
1	Critical Asset	1.1. Kerusakan critical asset hanya membutuhkan perbaikan minor	1.2. Kerusakan critical asset hanya membutuhkan perbaikan hingga 1 bulan	1.3. Kerusakan critical asset hanya membutuhkan perbaikan hingga 3 bulan	1.4. Kerusakan critical asset hanya membutuhkan perbaikan hingga 3 bulan	1.5. Kerusakan critical asset hanya membutuhkan perbaikan > 6 bulan atau penggantian.
2	K-3/ Keselamatan Jiwa	2.1. Tdk ada korban jiwa	2.2. Korban luka ringan (rawat jalan)	2.3. Korban luka sedang (rawat inap)	2.4. Korban luka berat/ cacat permanen	2.5. Korban jiwa.
3	Lingkungan	3.1. Terjadi pencemaran lingkungan namun masih dalam ambang batas KLH dan dampak terhadap lingkungan dapat di atasi segera.	3.2. Terjadi pencemaran lingkungan namun masih dalam ambang batas KLH dan dampak terhadap lingkungan dapat di atasi < 1 bulan.	3.3. Terjadi pencemaran lingkungan di luar ambang batas KLH dan dampak terhadap lingkungan dapat di atasi > 1 bulan.	3.4. Terjadi pencemaran lingkungan di luar ambang batas KLH dan dampak terhadap lingkungan bersifat permanen, tdk dapat di atasi segera.	3.5. Terjadi pencemaran lingkungan di luar ambang batas KLH dan dampak terhadap lingkungan bersifat permanen, tdk dapat di atasi.
4	Teknologi	4.1. Penanganan kerusakan melalui mekanisme repair workshop local	4.2. Penanganan kerusakan melalui mekanisme repair vendor	4.3. Penanganan kerusakan melalui mekanisme refurbishment/ re-manufacture	4.4. Penanganan kerusakan melalui mekanisme reverse	4.5. Penanganan kerusakan melalui mekanisme vendor OEM
5	Supply Tenaga Listrik	5.1. Down time sampai dengan 3 jam,	5.2. Down time: 3 jam sampai dengan 12 jam.	5.3. Down time: 12 jam sampai dengan 1 hari.	5.4. Down time: 1 hari sampai dengan 1 minggu	5.5. Down time > 1 minggu.
6	Opportunity Loss	6.1. < Rp 500 juta	6.2. Rp 500 juta s.d Rp 50 milyar	6.3. Rp 50 milyar s.d Rp 500 milyar.	6.4. Rp 500 milyar s.d Rp 5 trilyun	6.5. > Rp 5 trilyun

$$\text{Downtime (DT)} = \frac{MTTR \times DC}{24} \quad (57)$$

7. *Opportunity loss*, yaitu menentukan nilai dampak berdasarkan jumlah kerugian finansial akibat hilangnya kesempatan memproduksi pada saat dilakukan perbaikan. Dalam kriteria ini diperlukan penghitungan kerugian yang memerlukan rumus sebagai berikut :

$$\text{Opportunity loss (OP)} = DM \times MTTR \times BPP \times CF \times DC \dots\dots\dots(58)$$

Dengan :

DM : daya mampu pembangkit , 330.000 kW

MTTR : *mean time to repair* (jam), lampiran 2

BPP : Biaya Pokok Produksi, dipergunakan Rp. 661,3 /kWh (data April 2018)

CF : *Capacity Factor*, dipergunakan 0,88 (data April 2018)

DT : *Down time*, hari

DC : *Derating Capacity*, yaitu pengaruh downtime suatu equipment terhadap output daya dari plant. Nilai dapat dilakukan pendekatan berdasarkan posisi equipment pada rangkaian sistem keandalan plant yang digambarkan dalam reliability block diagram atau dari history operasi.

Criticality Risk Matrix (tabel 3.5), Tingkat Kemungkinan Risiko (tabel 3.3) dan Tingkat Dampak Risiko (tabel 3.4) dipergunakan untuk tool dalam melakukan seleksi peralatan. Akan diperoleh 4 katagori risiko (ekstrim, tinggi, moderat, rendah). Lam. Kep. Dir. PT.PJB 2014 disebutkan bahwa mitigasi diperlukan untuk risiko ekstrem dan tinggi. Disamping itu, apabila terdapat risiko moderat yang mempunyai kecenderungan untuk meningkat ke tinggi, maka perlu dilakukan mitigasi.

Berdasarkan hal di atas, maka proses penentuan ranking dan seleksi akan memilih peralatan dengan risiko ekstrim, tinggi dan moderat yang berpotensi meningkat menjadi risiko tinggi.

3.4. Pengumpulan Data Kegagalan

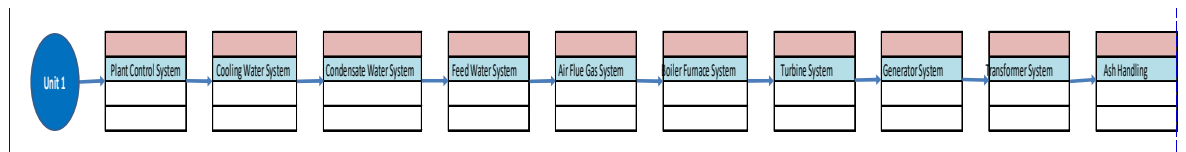
Dari semua peralatan yang sudah melewati tahap seleksi di atas, langkah yang ditempuh selanjutnya adalah mengumpulkan data kegagalan peralatan, yaitu waktu dimana sebuah peralatan tidak beroperasi oleh karena kerusakan dan proses perbaikan.

3.5. Pengumpulan Data Terkait Proses Perbaikan

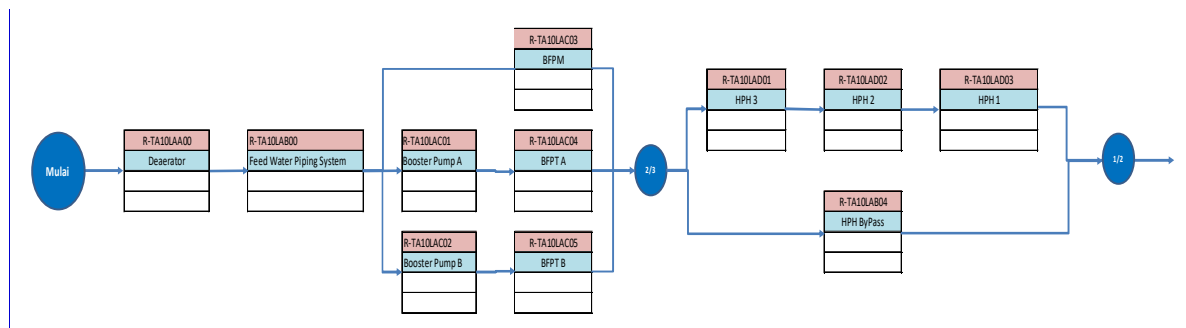
Data terkait proses perbaikan yang dilakukan pengumpulan adalah data terkait maintenance cost, yang mencakup semua proses pemeliharaan, baik pemeliharaan korektif maupun overhaul. Data ini akan dipergunakan pada tahap penyusunan *total cost*

3.6. Penyusunan Reliability Block Diagram

Reliability Block Diagram dipergunakan untuk mengidentifikasi hubungan antar peralatan supaya sistem dapat bekerja sesuai performa normal. Keandalan sistem dan persamaan model kegagalan berdasarkan diagram tersebut dapat diketahui dengan persamaan seri – paralel.



Gambar3.3 Reliability Block Diagram Level 1.



Gambar 3.4. Reliability Block Diagram Level 2

3.7. Pengembangan Model Kegagalan Sistem

Berdasarkan data kegagalan, disusun persamaan *reliability* level peralatan dengan menggunakan *software* Weibull. Persamaan *reliability* peralatan diintegrasikan menjadi peralatan *reliability* sistem dengan menggunakan *software* Blockshim.

3.8. Penyusunan *Human Error Probability Model*

Penelitian ini menggunakan metode *Success Likelihood Index Method* (SLIM) dengan output *Human Error Probability* (HRA). Teknik tersebut digunakan dalam bidang HRA (*Human Reliability Analysis*) yang bertujuan untuk menganalisis kemungkinan *human error* yang terjadi pada saat melakukan suatu pekerjaan. Dari analisis kemudian tindakan-tindakan pencegahan dapat diambil untuk mengurangi kemungkinan *error* yang terjadi dan dapat memberikan perbaikan dalam semua tingkat *safety*. SLIM digunakan untuk mengukur PSF (*Performance Shaping Factor*). Faktor ini berkaitan dengan individu, lingkungan atau *task* yang memiliki potensi untuk mempengaruhi kinerja para pekerja (baik secara positif maupun secara negatif). Faktor-faktor tersebut digunakan untuk memperoleh SLI (*Success Likelihood Index*), yaitu suatu bentuk indeks preferensi yang dikalibrasi terhadap data yang ada untuk memperoleh hasil akhir HEP (*Human Error Probability*).

Task analysis dilakukan untuk mengetahui probabilitas *error* pada *task -task* dalam overhaul, dengan cara membuat kuisisioner dari pihak yang berkompeten dan memahami proses yang dilaksanakan dalam overhaul, mulai dari *engineer*, *project manager*, teknisi, *project planner* dan lain lain. Tujuan dari *task analysis* adalah untuk pembuatan kuisisioner pembobotan PSF dan kuisisioner penilaian PSF. Dari PSF ini akan dihitung SLI dengan persamaan 12. Setelah SLI diperoleh, maka dapat dihitung HEP dan *probability human error* dengan menggunakan persamaan 13 dan 14.

3.9. Penyusunan Sistem Kegagalan Gabungan

Sesudah persamaan model kegagalan dan *human error probability model* ditentukan, maka kegagalan gabungan dengan menggunakan persamaan 17 pada Bab 2.

System failure probability pada persamaan 17 dapat menggunakan distribusi eksponensial, weibull, normal atau lognormal, dengan patokan terbaik menggunakan data riil yang diperoleh dari sistem tersebut. Apabila terdapat keterbatasan data, dapat dipergunakan data tes, data bank atau *expert judgement* (Khan, 2015). Distribusi weibull karena fleksibilitas bawaan seperti distribusi normal (untuk $\beta = 3,4$) dan eksponensial (untuk $\beta = 1$) paling sering terjadi digunakan untuk memodelkan probabilitas kegagalan sistem. Dalam penelitian ini, model Weibull dengan parameter β dan θ digunakan untuk memodelkan keandalan yang dependen waktu dari peralatan yang menyusun sebuah sistem. Apabila terdapat sebuah penurunan *failure rate* ($\beta < 1$) maka dapat disimpulkan bahwa kondisi *infant mortality* terjadi pada sistem. Konstan failure rate ($\beta = 1$) menunjukkan bahwa sistem dalam keadaan *random event*. Failure yang meningkat ($\beta > 1$) menunjukkan bahwa sistem didalam fase *wear out* (Ghosh dkk ,2009).

3.10. Failure Consequences

Persamaan 8 dipergunakan untuk menghitung *economic consequences* dengan menggunakan *failure probability*.

3.11. Penyusunan Risk Profil

Resiko dapat dikembangkan dari kombinasi antara probabilitas dan konsekuensi yang mungkin terjadi, termasuk terhadap safety, kesehatan, konsekuensi operasional dan non operasional dengan mempergunakan persamaan 11.

3.12. Penyusunan Total Cost , Profit dan Grafik Optimasi

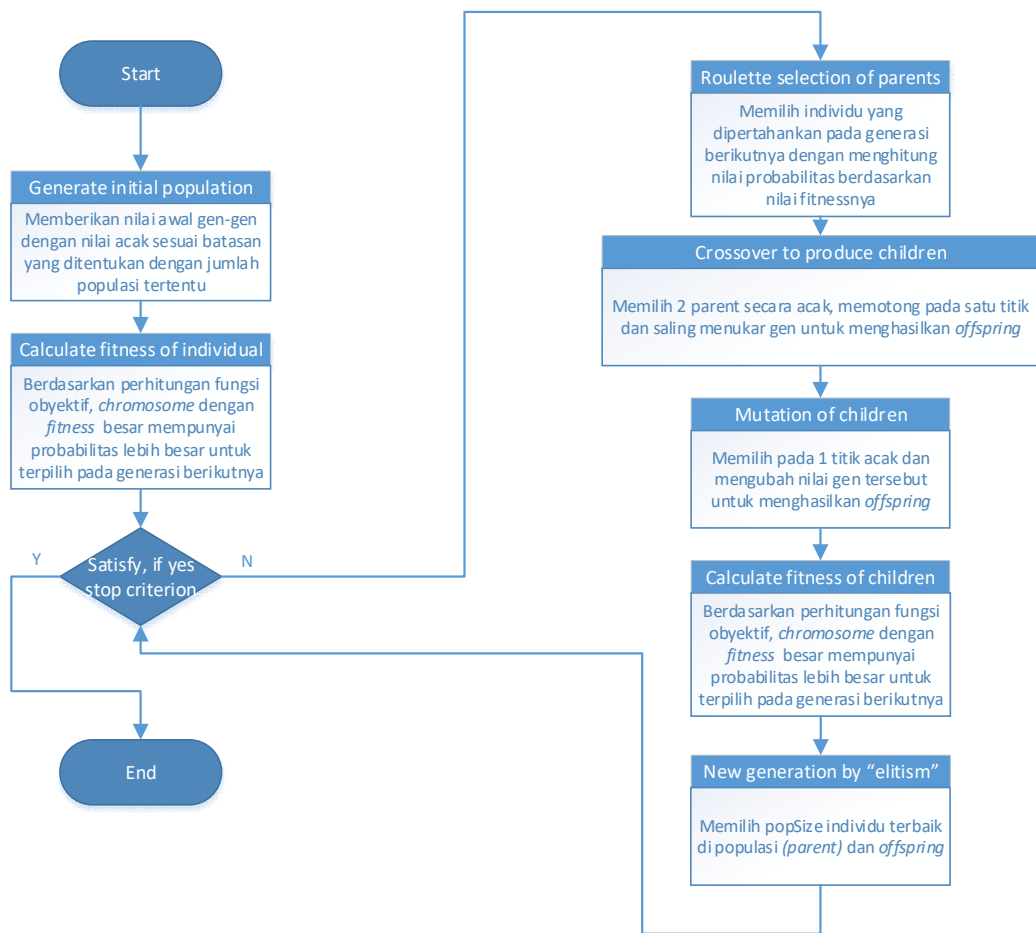
Total cost diperoleh dengan menghitung *maintenance cost* (Kr) dan mengkombinasikannya dengan Risk (R) sehingga persamaan *relative cost* per unit

waktu K_c (persamaan 51) dapat diperoleh. *Cost* yang paling kecil (V) diperoleh dari minimasi fungsi tujuan K_c .

Estimasi profit diperoleh melalui perhitungan yang melibatkan parameter efisiensi termal (η), Energi bahan bakar (E_w) dan biaya pokok produksi (p) yang tertuang pada persamaan 19 sehingga fungsi Z dapat diperoleh. Profit diperoleh dari selisih persamaan Z dengan K_c , dimana fungsi baru V (persamaan 57) dapat diperoleh. Optimasi dilakukan dengan mencari nilai fungsi V yang terbaik untuk mendapatkan nilai profit yang tertinggi.

3.13. Metode Optimasi

Penyelesaian fungsi V menggunakan non linear dengan metode *genetic algoritma (GA)*, dengan menggunakan hasil life assessmen dan regulasi yang diadopsi dari standar internasional yang berlaku sebagai fungsi pembatas. Untuk GA menggunakan flowchart seperti di bawah ini :



Gambar 3.5. Proses *Genetic Algorithm*

BAB IV. PEMBAHASAN

4.1. Menghitung Probability Terjadinya *Failure* Setiap *Equipment*

4.1.1. Pengumpulan Data Kegagalan

Proses penyusunan *criticality ranking* peralatan memerlukan data peralatan beserta *probability* terjadinya *failure* berdasarkan history kerusakan selama masa satu kali periode operasi sebelum dilaksanakannya overhaul berikutnya. Untuk mendapatkan data tersebut dipergunakan sumber data sebagai berikut :

1. Data pemeliharaan dari *Computerized Maintenance Management System* (CMMS) Maximo. Data ini berisi *work order* suatu pekerjaan yang dilaksanakan sebagai tindakan *repair* dari laporan kerusakan dari bagian operasi, yang dilengkapi dengan *start date* dan *end date*
2. Data *Pareto Loss Output* (PLO), yaitu data dari bidang operasi tentang kejadian kondisi dimana *plant* mengalami kehilangan atau penurunan beban akibat *failure* dengan dilengkapi dengan tanggal mulai dan selesai sebuah kejadian.

Kriteria kerusakan yang dikategorikan sebagai data adalah :

1. Menyebabkan peralatan *shutdown*
2. Kerusakan yang secara standar teknik seharusnya sudah dilakukan *shutdown*, walaupun secara aktual peralatan tetap dikondisikan beroperasi
3. Kerusakan menyebabkan output peralatan (berupa *pressure*, temperatur, daya, dan lain lain) tidak 100%

RGS Standar Folio (2005) membagi kriteria sumber data menjadi:

1. *Fielded data*, adalah data yang digunakan untuk menganalisis data dari sistem yang dapat diperbaiki yang beroperasi di lapangan dalam kondisi penggunaan pelanggan yang khas
2. Terdapat 2 pilihan model analisa, yaitu :
 - a. *Repairable data* : untuk menganalisa individual *failure times* dari *multiple repairable system* yang beroperasi di lapangan. Model analisisnya adalah jumlah individual *system failures* vs *system time*

- b. *Fleet data type* : untuk menganalisa multiple *repairable system* dari perspektif gabungan, Model analisisnya adalah *failure time* gabungan vs *time* gabungan. Yang sesuai dengan *system* dalam obyek penelitian adalah menggunakan *repairable data*.

Kebutuhan failure data adalah minimal untuk *repairable system* adalah minimal 3 *failure* (RSP RGA, 2013),.

Berdasar data yang diperoleh, dari 207 equipment yang terdaftar pada plant PLTU Unit 1, terdapat :

- a. 148 equipment tidak pernah mengalami kerusakan sama sekali selama 62.064 jam operasi
- b. 15 equipment mengalami kerusakan sebanyak 1-2 kali selama 62.064 jam operasi
- c. 44 equipment mengalami kerusakan sebanyak lebih dari 3 kali selama 62.064 jam operasi

Dari persamaan tersebut di atas diambil sebuah contoh data, yaitu untuk *equipment coalfeeder B*

(Data diambil dari start operasi pertama unit 1 yaitu tanggal 31 Desember 2010 dan selesai tanggal 29 Januari 2018 (jam ke 62.064)

Di bawah ini adalah rekap data kegagalan yang akan diolah untuk mendapatkan probability kerusakan pada suatu peralatan

Tabel 4.1. Data *Equipment Failure Coal Feeder B*

No.	Discription	Act. Start	Act. Finish	REPAIR TIME	TBF	AKUMUL ATIF TBF
1	Start	31/12/2010 00.00				
2	identifikasi,perbaikan: Unit #1: Coal feeder belt #1B tidak tepat ditengah (bergeser)	14/10/2011 15.06	15/10/2011 15.06	24	6903	6903
3	Perbaikan Boiler #1 : inlet coal feeder #1B indikator di CCR abu - abu	14/11/2011 10.39	14/11/2011 13.40	3	740	7643
4	Boiler #1 : Kalibrasi coal feeder #1B coal flow	04/01/2012 08.44	04/01/2012 13.44	5	1222	8865
5	Boiler #1 :Selang pneumatic untuk damper outlet feeder sobek,udara instrument bocor	08/04/2013 11.40	09/04/2013 11.40	24	11043	19908
6	Boiler #1 : Bet conveyor feeder B pinggirannya sudah aus	17/02/2014 10.16	18/02/2014 10.16	24	7559	27466
7	Plugging inlet feeder	01/03/2014 11.00	07/03/2014 08.30	141	289	27755
8	Boiler #1 : Inverter Feeder 1D error, muncul alm F0004	11/12/2014 08.00	11/12/2014 10.00	2	6837	34592
9	Plugging inlet feeder	30/12/2014 05.00	30/12/2014 10.30	5	453	35045
10	Plugging inlet feeder	21/05/2015 10.50	21/05/2015 11.20	0	3414	38459
11	Plugging inlet feeder	21/01/2016 18.52	21/01/2016 21.23	3	5888	44347
12	Plugging inlet feeder	03/02/2016 20.00	03/02/2016 20.52	1	313	44660
13	Plugging inlet feeder	12/02/2016 11.43	12/02/2016 12.59	1	208	44868
14	Boiler #1: Plugging outlet feeder 1B	10/11/2016 09.09	10/11/2016 17.12	8	6525	51393
15	Boiler #1 : Kebocoran batubara di inlet dan outlet no 1 mill 1B	12/06/2017 14.55	19/06/2017 11.06	164	5142	56535

4.1.2. Menghitung Nilai *Probability Equipment*

Di bawah ini adalah contoh penghitungan manual dan analisa *software* :

1. Perhitungan manual untuk *coal feeder B*

Tabel 4 2. *Failure Time Coal Feeder B*

Nq	Xiq	Nq	Xiq
1	6903	8	34845
2	7643	9	38253
3	8861	10	44141
4	19899	11	44451
5	27434	12	44658
6	27698	13	51182
7	34394	14	56316

Dari persamaan (1) dan (2) dengan :

K =1 (hanya 1 *system/equipment*)

T = 62064 h

Diperoleh

1. Parameter β dan θ

$$\beta = \frac{\sum_{q=1}^K Nq}{\sum_{q=1}^K \sum_{i=1}^{Nq} \ln \frac{T}{Xiq}}$$

$$\beta = 14 / (\ln (62064/6903) + \ln (62064/7643) + \ln (62064/8861) + \ln (62064/19899) + \ln (62064 /27434) + \ln (62064/27698) + \ln (62064/34394) + \ln (62064/34845) + \ln (62064/38253) + \ln (62064/44141) + \ln (62064/44451) + \ln (62064/44658) + \ln (62064/51182) + \ln (62064/56316))$$

$$= 1,1723$$

$$\theta = \frac{\sum_{q=1}^K Nq}{KT^\beta}$$

$$= \frac{14}{1 \times 62064^{1,1723}}$$

$$= 3,37 \times 10^{-5} \text{ h}$$

2. $\eta = \frac{1}{\theta^{1/\beta}}$

$$= \frac{1}{3,37 e^{-5^{1/1,1723}}}$$

$$= 6533,3939 \text{ h}$$

3. Probability Density Function Weibull Distribution

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

$$f(t) = \frac{1,1723 t^{0,1723} e^{-\left(\frac{t}{6533,3939}\right)^{1,1723}}}{6533,3939^{1,1723}}$$

$$f(t) = \frac{1,1723 t^{0,1723} e^{-\left(\frac{t}{6533,3939}\right)^{1,1723}}}{1,1723}$$

4. Cumulative Distribution Function

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

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{6533,3939}\right)^{1,1723}}$$

5. Reliability Function

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

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{6533,3939}\right)^{1,1723}}$$

Rumus penghitungan *conditional reliability* digunakan pada penelitian ini karena *system* sudah berjalan 62.064 h dan akan dioperasikan satu periode lagi. Satu periode operasi disebut *mission time* dipilih 8000 h. 8000 h adalah interval standar dari *manufacture* pembangkit untuk dilakukan inspeksi dalam kondisi *shutdown* (overhaul) seperti yang ditunjukkan di Gambar 4.1 di bawah ini. Gambar dengan tanda garis merah menunjukkan bahwa interval antara overhaul (SI-ME-SI-SE) adalah 8000 *operating hour* (OH)

UNIT	SIKLUS 1				SIKLUS 2				SIKLUS 3				SIKLUS 4			
PLTU	SI	ME	SI	SE	SI	ME	SI	SE	SI	ME	SI	SE	SI	ME	SI	SE
PLTG	CI	HGPI	CI	ME	CI	HGPI	CI	ME	CI	HGPI	CI	ME	CI	HGPI	CI	ME
PLTGU	CI	TI	CI	MI	CI	TI	CI	MI	CI	TI	CI	MI	CI	TI	CI	MI
PLTGU	TC/TA		TB/TA		TC/TA		TB/TA		TC/TA		TB/TA		TC/TA		TB/TA	
PLTD	TO	SO	TO	MO	TO	SO	TO	MO	TO	SO	TO	MO	TO	SO	TO	MO

SI : Simple Inspection	8000 OH	TA	Type A Inspection	6000 EOH
ME : Medium Inspection	16000 OH	TB	Type B Inspection	12000 EOH
SE : Serious Inspection	32000 OH	TC	Type C Inspection	24000 EOH
CI : Combustion Inspection	8000 EOH	TO	Top OH	3000 OH
TI : Turbine Inspection	16000 EOH	SO	Semi OH	6000 OH
MI : Major Inspection	32000 EOH	MO	Major OH	12000 OH

Gambar 4.1. Standar Interval Perusahaan pada Berbagai Jenis Pembangkit

Untuk *reliability* pada *coalfeeder* B pada *system age* 62.064 dan *mission time* 8000 dengan rumus (8)

$$R(t) = e^{-[0,0000337(62064+8000)^{1,1723} - 0,0000337.62064^{1,1723}}$$

$$= 0,1179$$

Metode penghitungan lain adalah dengan mempergunakan rumus (18) dan (20)

$$R(62064) = e^{-\left(\frac{62064}{6533,3939}\right)^{1,1723}}$$

$$= 8,30713E-07$$

$$R(62064 + 8000) = e^{-\left(\frac{62064+8000}{6533,3939}\right)^{1,1723}}$$

$$= 9,78966E-08$$

$$R(62064,8000) = \frac{R(62064 + 8000)}{R(62064)}$$

$$= 9,78966E-08 / 8,30713E-07$$

$$= 0,1179$$

Disimpulkan bahwa coal feeder B mempunyai *probability success* 0,1179 pada kondisi *system age* 62064 h dan *mission time* 8000 h.

6. *Probability failure*

Untuk *probability failure* pada coalfeeder B pada *system age* 62.064 dan *mission time* 8000 , dengan menggunakan rumus (15), diperoleh :

$$F(62064,8000) = 1 - 0,1179$$

$$= 0,8821$$

Pada *equipment* yang lain dapat dilakukan metode penghitungan yang sama. Dikarenakan banyaknya *equipment*, maka penghitungan *probability failure* dengan *system age* 62064 h dan *mission time* 8000 h dilakukan dengan *software*.

Hasil penghitungan *probability* kemudian dikelompokkan sesuai nilai berdasarkan pada Tabel 3.7.

Equipment dengan nilai 5 (*probability* > 0,9) adalah seperti table 4.3. di bawah ini :

Tabel 4.3. *Equipment* Dengan Nilai Kemungkinan 5

No	Equipment	F (probability of failure)	No	Equipment	F (probability of failure)
1	COAL FEEDER #1C	0,9842	6	COAL PULVERIZER #1B	0,9005
2	COAL FEEDER #1A	0,9491	7	COAL PULVERIZER #1C	0,9553
3	BOTTOM ASH SILO #1 - CHAIN ELEVATOR	1	8	COAL PULVERIZER #1D	0,94
4	INDUCED DRAFT FAN #1A	0,907	9	COAL PULVERIZER #1E	0,9347
5	COAL PULVERIZER #1A	0,9987	10	EH OIL PUMP A	0,9322

Equipment dengan nilai 4 (probability 0,7-0,9) adalah seperti table 4.4. berikut :

Tabel 4.4. *Equipment* Dengan Nilai Kemungkinan 4

No	Equipment	F (probability of failure)
1	CIRCULATING WATER PUMP #1B	0,7374
2	CIRCULATING WATER PUMP #1A	0,8450
3	INDUCED DRAFT FAN #1B	0,8760
4	COAL FEEDER #1B	0,8821
5	COAL PULVERIZER #1F	0,8957
6	COAL FEEDER #1E	0,8390
7	COAL FEEDER #1F	0,8946

Equipment dengan nilai 3 ($0,3 < \text{probability} < 0,7$) adalah seperti tabel berikut :

Tabel 4.5. *Equipment* Dengan Nilai Kemungkinan 3

No	Equipment	F (probability of failure)
1	GENERATOR #1	0,5096
2	AIR PREHEATER #1A	0,5119
3	AIR PREHEATER #1B	0,5782
4	DEBRIS FILTER #1A	0,4559
5	TRAVELLING SCREEN #1A	0,5966
6	TRAVELLING SCREEN #1B	0,3574
7	GOVERNOOR VALVE	0,4557
8	CONDENSOR #1 B	0,4609
9	DEBRIS FILTER #1B	0,3554
10	CONDENSATE PUMP #1A	0,4676

No	Equipment	F (probability of failure)
11	BOILER FEEDWATER PUMP #1A	0,3646
12	CONDENSOR #1 A	0,5554
13	COAL FEEDER #1D	0,6571
14	INSTRUMENT CONTROL & DCS #1	0,3191
15	VACUUM PUMP #1A	0,6891
16	VACUUM PUMP #1B	0,6891
17	EH OIL PUMP b	0,6909
18	REHEAT STEAM VALVE #1A	0,412
19	HP HEATER 6 #1	0,4147

Equipment dengan nilai 2 ($0,1 < probability < 0,3$) adalah sebagai berikut :

Tabel 4.6. *Equipment* Dengan Nilai Kemungkinan 2

No	Equipment	F (probability of failure)
1	BOILER	0,2542
2	PRIMARY AIR FAN #1A	0,3483
3	PRIMARY AIR FAN #1B	0,1186
4	FORCED DRAFT FAN #1B	0,2876
5	FORCED DRAFT FAN #1A	0,2855
6	ELECTROSTATIC PRECIPITATOR #1A	0,2911
7	ELECTROSTATIC PRECIPITATOR #1B	0,2335
8	INSTRUMENT CONTROL & DCS #1	0,2556

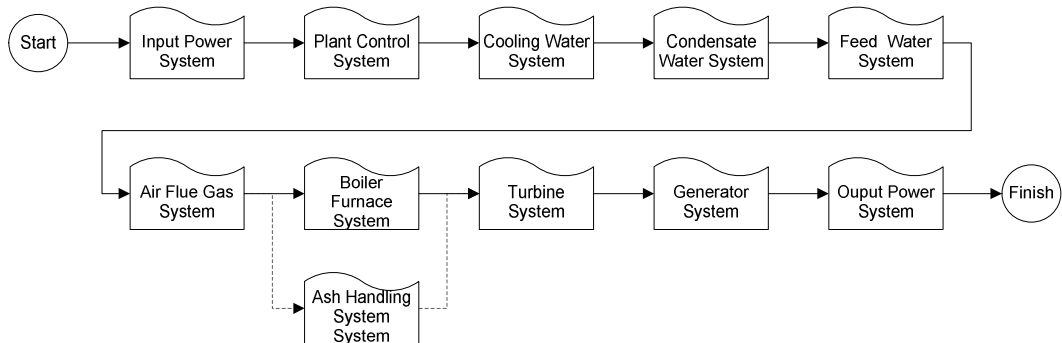
Equipment dengan nilai 1 ($probability < 0,1$) diperoleh sebanyak 163. Detail dapat dilihat pada lampiran no. 1

4.2. Penyusunan *Criticality Ranking* Peralatan

4.2.1. Menyusun *Reliability Block Diagram* dari *Plant* dan *System*

Sebelum melaksanakan *criticality ranking* peralatan, perlu diketahui *reliability block diagram* (RBD) dari level *plant* sampai ke level *equipment* untuk dapat mempermudah proses tersebut. RBD akan dipergunakan untuk mengetahui dampak *failure equipment* terhadap *plant*, dalam hal ini terkait berkurangnya atau hilangnya produksi listrik yang dihasilkan. SAR Reliasoft (2015) mendefinisikan bahwa RBD adalah grafik representasi komponen/ *equipment* dari *system* dalam rangka menggambarkan hubungan keandalan.

1. Level Plant PLTU Unit 1

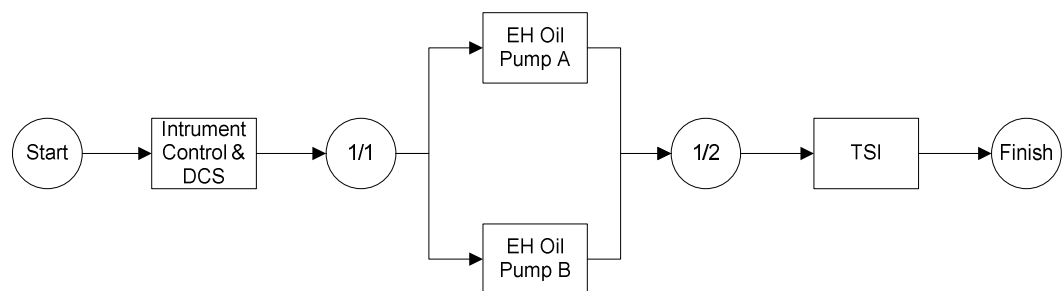


Gambar 4.2 RBD *Plant System*

Plant PLTU Indramayu terdiri dari 10 *system* yang mempunyai rangkaian *reliability* secara seri dan 1 *system* yang mempunyai rangkaian *reliability degraded*. *System* penyusun *plant* PLTU adalah *plant control system*, *input power system*, *cooling water system*, *condensate water system*, *feed water system*, *air flue gas system*, *boiler furnace system*, *turbine system*, *generator system*, *output power system*, dan *ash handling system*. Detail dari setiap *system* akan dijelaskan pada keterangan di bawah.

2. Level System

a. *Plant Control System*



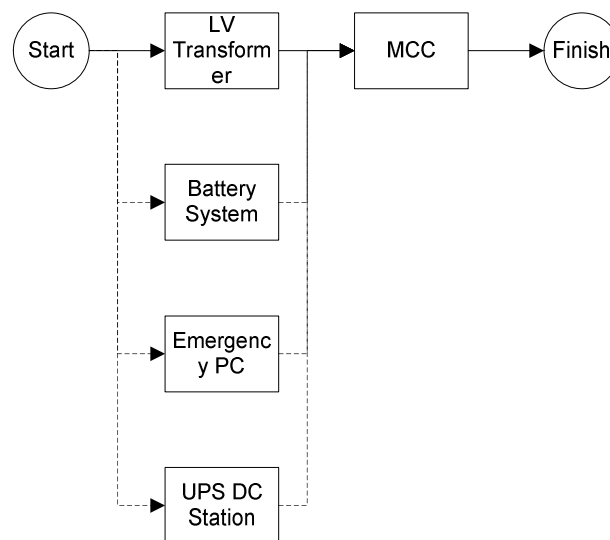
Gambar 4.3. RBD *Plant Control System*

Plant control system mempunyai *system-system* di bawahnya, atau lebih tepat disebut *equipment*. Setiap *equipment* mempunyai fungsi yang berbeda.

- a. *Equipment instrument control & DCS* berfungsi untuk melakukan deteksi terhadap parameter operasi yang terdapat sebagai output kerja *equipment* lain, untuk kemudian melakukan pengontrolan pada parameter yang belum memenuhi target setting untuk memenuhi atau memperkecil defiasi output kerja terhadap target setting.
- b. *Equipment EH Oil Pump* berfungsi untuk menjaga sirkulasi oil kontrol. Oil kontrol dipergunakan untuk sebagai penggerak regulating open dan close valve inlet steam masuk ke turbine.
- c. *Equipment TSI(system)* berfungsi untuk melakukan deteksi terhadap parameter operasi yang terdapat sebagai output kerja turbine. Equipmet TSI mengirimkan sinyal ke DCS untuk kemudian akan dilakukan pengontrolan oleh *Equipment instrument control & DCS*.

Ketiga equipment ini yang mempunyai rangkaian reliability secara seri.

a. *Input Power System*

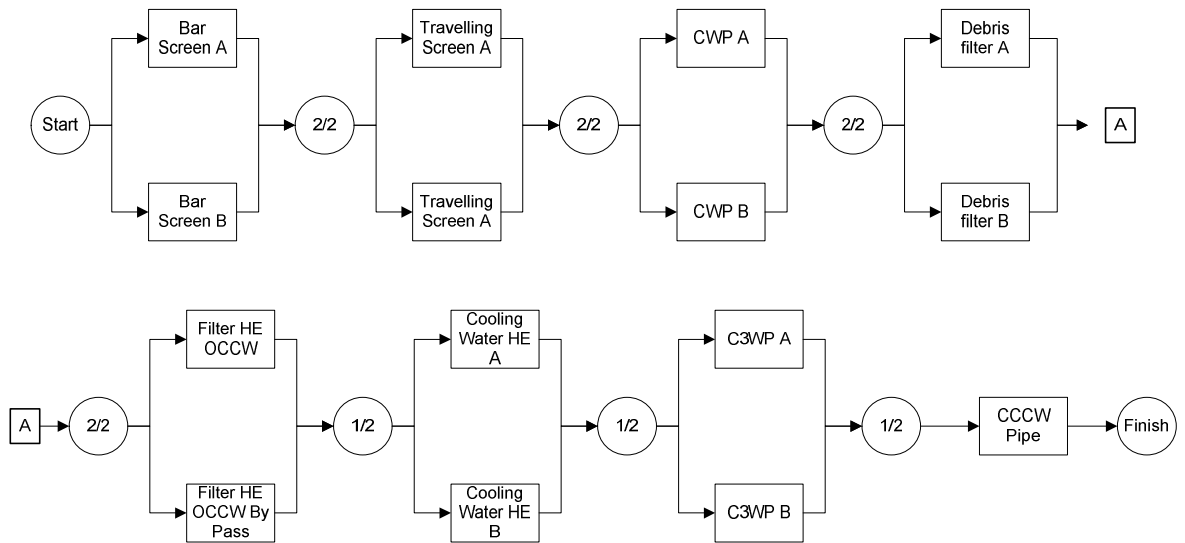


Gambar 4.4. RBD *Input Power System*

Input power system berfungsi untuk menyediakan energi listrik supaya peralatan elektrikal *plant* dapat beroperasi dengan normal. *System* ini terdiri dari :

- a. *Medium Voltage Transformer*, mempunyai rangkaian seri. *Equipment* ini berfungsi untuk menurunkan tegangan tinggi dari *auxiliary transformer* menjadi tegangan menengah untuk *supply* daya motor penggerak *equipment* lain
- b. *Low Voltage Transformer*, mempunyai rangkaian seri. *Equipment* ini berfungsi untuk menurunkan tegangan menengah dari *medium voltage transformer* menjadi tegangan rendah untuk *supply* daya motor penggerak *equipment* lain
- c. *Motor Control Center*, mempunyai rangkaian seri. berfungsi untuk kontrol *supply* daya pada motor
- d. *Section emergency power supply*, mempunyai rangkaian degraded system. Ebeling (1997) menyatakan bahwa beberapa sistem dapat tetap beroperasi dalam mode degradasi yang mungkin akan diikuti beberapa tipe *failures*. Sistem dapat beroperasi namun tidak dalam level operasi tertentu. Apakah mode degradasi diperhitungkan sebagai *failure* harus didefinisikan terlebih dahulu sesuai desain keandalan yang spesifik. *Section* ini hanya diperlukan untuk *safety* bagi *equipment critical* apabila *input power keluaran low voltage transformer* mengalami *failed*. Apabila *section* ini *down*, *plant* tetap dapat beroperasi. Apabila *input power keluaran low voltage down*, maka *plant* akan *down*, dengan tidak dipengaruhi oleh kondisi operasional *section emergency power supply*. *Section* ini sendiri mempunyai rangkaian *system* paralel 3 out of 3, yang terdiri dari :
 - i. *Battery system*, berfungsi untuk menyimpan energi listrik DC untuk *power* motor peralatan esensial
 - ii. *Emergency power control (PC)*, berfungsi untuk pengaturan aktivasi sistem *emergency*
 - iii. UPS DC Station, berfungsi untuk *supply* energi *emergency* dari jaringan luar untuk *power* motor peralatan esensial

b. *Cooling Water System*



Gambar 4.5. RBD *Cooling Water System*

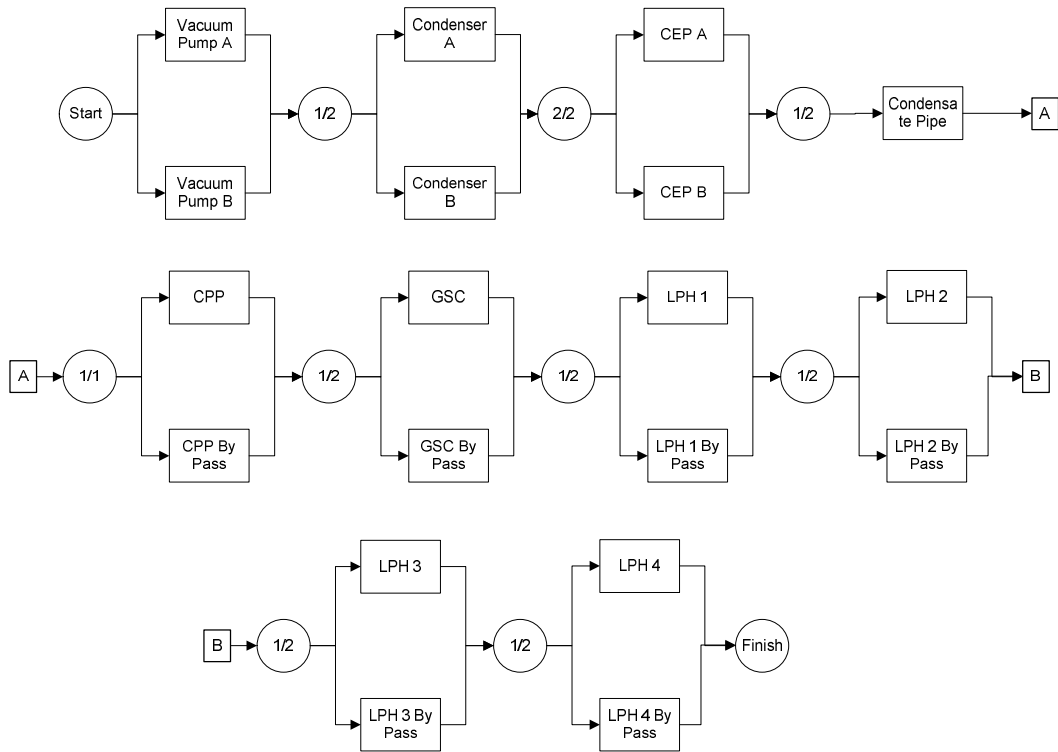
Cooling water system mempunyai fungsi utama untuk supply air laut sebagai pendingin *equipment condenser* dan air pendingin pelumas.

Cooling water system terdiri dari kombinasi rangkaian paralel dan seri dari beberapa *equipment*, yaitu :

- a. *Bar screen A & B* , membentuk rangkaian paralel. Fungsi dari *bar screen* adalah sebagai saringan tahap 1 untuk mencegah sampah berat dari air laut masuk ke dalam *cooling water system*. Equipment ini tergolong static equipment berupa saringan dari jajaran plat strip. *Bar screen A & B* mempunyai rangkaian *reliability 2 out of 2*.
- b. *Travelling screen A & B*, membentuk rangkaian paralel. Fungsi dari *travelling screen* adalah sebagai saringan tahap 2 untuk mencegah sampah ringan dari air laut masuk ke dalam *cooling water system*. Equipment ini tergolong *rotary equipment* berupa saringan bergerak dengan motor sebagai sumber gerak. *Travelling screen A & B* mempunyai rangkaian *reliability 2 out of 2*.
- c. *Circulating Water Pump (CWP) A & B*, membentuk rangkaian paralel. Fungsi dari CWP adalah untuk memompa air laut masuk ke dalam *cooling*

- water system. Equipment* adalah *vertical pump*, dan mempunyai rangkaian *reliability 2 out of 2*.
- d. *Debris filter A & B*, membentuk rangkaian paralel. Fungsi dari *debris filter* adalah sebagai saringan tahap 3 untuk mencegah biota laut ringan (sejenis kerang) dan lumpur ringan yang terdapat di air laut masuk ke dalam *equipment condenser. Equipment* ini tergolong *rotary equipment* berupa saringan diam dengan pembersih bergerak dengan motor sebagai sumber gerak. *Debris filter A & B* mempunyai rangkaian *reliability 2 out of 2*.
 - e. *Filter HE OCCW A & B* membentuk rangkaian paralel. Fungsi dari *Filter HE OCCW* adalah sebagai saringan untuk mencegah biota laut ringan (sejenis kerang) dan lumpur ringan yang terdapat di air laut masuk ke dalam *equipment Cooling Water HE. Equipment* ini tergolong *rotary equipment* berupa saringan diam dengan pembersih bergerak dengan motor sebagai sumber gerak. *Filter HE OCCW A & B* mempunyai rangkaian *reliability 1 out of 2*
 - f. *Cooling Water HE A & B* membentuk rangkaian paralel. Fungsi dari *Cooling Water HE* adalah sebagai *heat exchanger tipe plate*. *Cooling Water HE A & B* mempunyai rangkaian *reliability 1 out of 2*
 - g. *Close Circulating Cooling Water Pump(CCCWP)* membentuk rangkaian paralel. Fungsi dari CCCWP adalah untuk memompa air pendingin pelumas masuk ke dalam *Cooling Water HE* untuk didinginkan oleh air laut. *Equipment* adalah *horisontal pump*, dan mempunyai rangkaian *reliability 1 out of 2*.
 - h. *Close Circulating Cooling Water Pipe (CCCW pipe)* membentuk rangkaian seri dari *equipment* sebelumnya yang berfungsi untuk media transfer air pendingin pelumas yang masuk dan keluar HE OCCW untuk ditransfer secara sirkulasi ke *equipment* lain.

c. *Condensate System*



Gambar 4.6. RBD *Condensate System*

Condensate system mempunyai fungsi utama untuk *supply* media air *condensate* pasca peristiwa kondensasi dari *equipment condenser*, untuk kemudian disirkulasi kembali ke boiler dengan menaikkan temperatur dan *pressure*

Condensate system terdiri dari kombinasi rangkaian paralel dan seri dari beberapa *equipment*, yaitu :

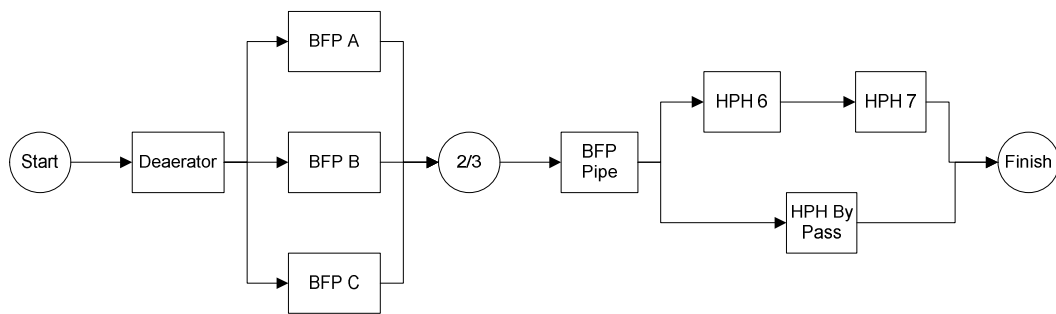
- a. *Condenser A & B* , membentuk rangkaian paralel. Fungsi dari *condenser* adalah sebagai *heat exchanger* yang mendinginkan *steam* pasca ekspansi dari *turbine* dengan pendingin air laut. *Equipment* ini tergolong *static equipment* berupa *heat exchanger tipe shell and tube*. *Condenser A & B* mempunyai rangkaian *reliability 2 out of 2*.
- b. *Vacuum pump A & B* membentuk rangkaian paralel. Fungsi dari *vacuum pump* adalah sebagai pembuat *vacuum* pada ruangan *condenser* sisi *steam* untuk mempermudah kondensasi. *Equipment* ini berupa *horizontal pump*. *Vacuum pump A & B* mempunyai rangkaian *reliability 1 out of 2*.

- c. *Condensate Extraction Pump (CEP) A & B* membentuk rangkaian paralel. Fungsi dari *CEP* adalah sebagai alat transfer air *condensate* dari kondensasi di *condenser* ke *boiler feed pump (BFP)*. *Equipment* ini berupa *horizontal pump*. *Vacuum pump A & B* mempunyai rangkaian *reliability 1 out of 2*.
- i. *Condensate pipe*, membentuk rangkaian seri dari *equipment* sebelumnya yang berfungsi untuk media transfer air *condensate* ditransfer secara sirkulasi ke *equipment* lain.
- d. *Condensate Polishing Plant (CPP) dan By Pass CPP* membentuk rangkaian paralel. *CPP* berfungsi untuk memperbaiki kualitas sifat kimia air *condensate*. *CPP by pass* berfungsi untuk media tempat air *condensate* di transfer apabila *CPP* tidak difungsikan. *CPP* tergolong *static equipment* berupa bejana dan *CPP by pass* tergolong *static equipment* berupa pipa. *CPP dan CPP by pass* mempunyai rangkaian *reliability 1 out of 2*.
- e. *Gland Steam Condenser (GSC) dan By Pass GSC* membentuk rangkaian paralel. *GSC* berfungsi untuk mengkondensasikan *gland steam*. *GSC by pass* berfungsi untuk media tempat *gland steam* di transfer ke *condenser* apabila *GSC* tidak difungsikan. *GSC* tergolong *static equipment* berupa bejana dan *GSC by pass* tergolong *static equipment* berupa pipa. *GSC dan GSC by pass* mempunyai rangkaian *reliability 1 out of 2*.
- f. *Low Pressure Heater (LPH) 1,2,3,4* membentuk rangkaian seri, namun rangkaian seri tersebut paralel dengan *by pass LPH 1,2,3,4*. *LPH* berfungsi untuk pemanasan *feedwater* dengan transfer panas tidak langsung, yang berwujud sebagai *heater tipe shell and tube*.

Keterangan :

Rangkaian paralel *equipment* dengan diperlukan 1 set operasi dengan 2 set yang tersedia (*Reliability 1 out of 2*) adalah *vacuum pump, CEP, CPP by Pass, GSC & by Pass, LPH1 & by pass, LPH 2 & by pass, LPH 3 & by pass, LPH 4 & by pass*. *Equipment* lain diperlukan 2 set operasi dengan 2 set yang tersedia (*2 out of 2*) atau *series*

d. *Feed Water System*



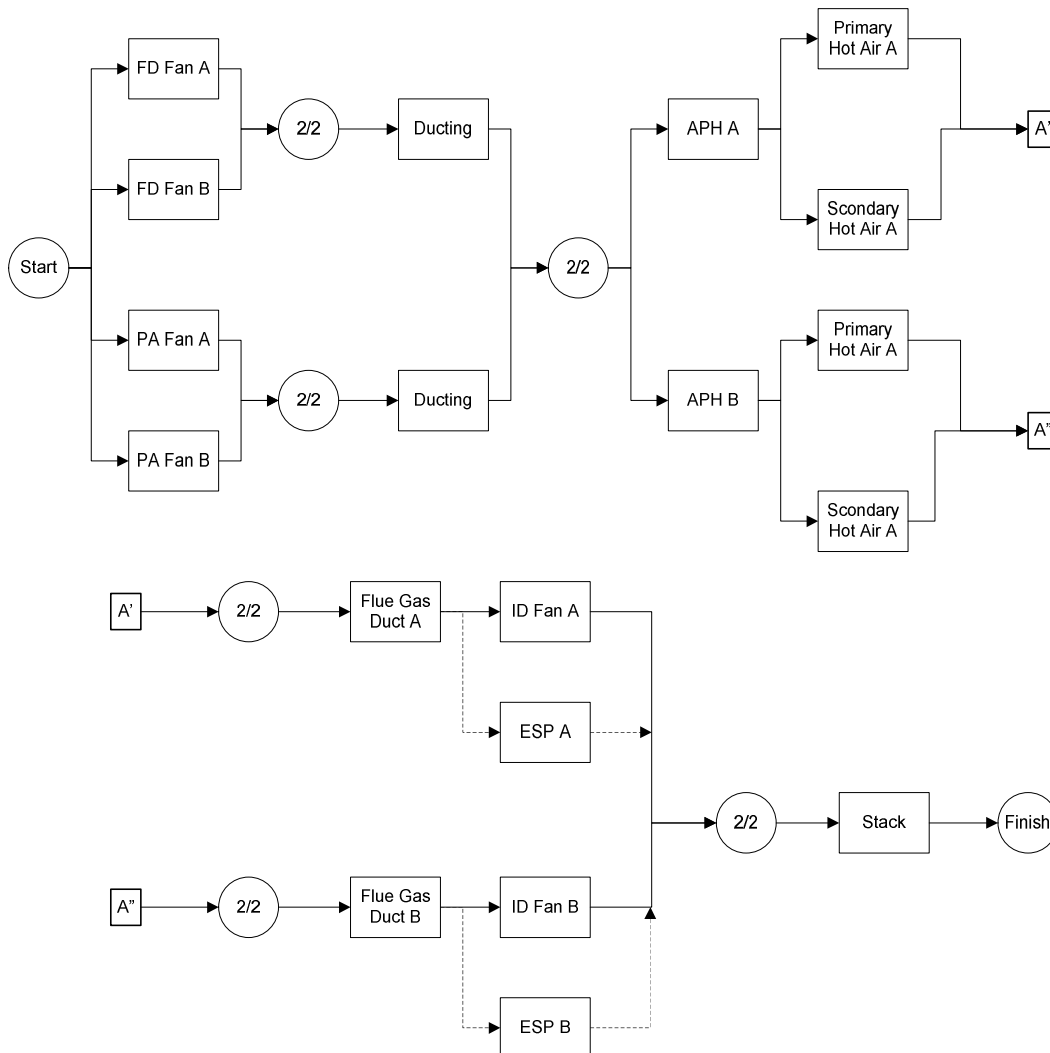
Gambar 4.7. RBD *Feed Water System*

Feed water system berfungsi sebagai fasilitas transfer (dilakukan oleh pompa), pemanasan *feed water* dengan mengambil panas dari steam ekstraksi (dilakukan dengan *heater*), untuk kemudian *feed water* dimasukkan ke dalam *boiler*.

Feed water system terdiri dari kombinasi rangkaian paralel dan seri dari beberapa *equipment*, yaitu :

- a. *Deaerator*, membentuk rangkaian seri. *Deaerator* adalah sebuah bejana tekan dengan fungsi menghilangkan udara dalam *feed water* (deaerasi) dan fungsi pemanasan dengan kontak langsung antara *feed water* dan *steam*.
- b. *Boiler Feed Pump* (BFP) A B dan C, membentuk rangkaian paralel 2 out of 3. Berfungsi untuk meningkatkan *pressure* sehingga dapat ditransfer ke *boiler*
- c. *BFP pipe*, membentuk rangkaian seri. Berfungsi untuk media transfer berwujud pipa.
- d. *High Pressure Heater* (HPH) 6 & 7 membentuk rangkaian seri, namun rangkaian seri tersebut paralel dengan *by pass* HPH 6 & 7. HPH berfungsi untuk pemanasan *feedwater* dengan transfer panas tidak langsung, yang berwujud sebagai heater tipe *shell and tube*.

e. *Flue Gas System*



Gambar 4.8. RBD Flue Gas System

Flue gas system berfungsi untuk sebagai media transfer dan pemanasan bagi udara pembakaran dan gas buang. *System* ini dibagi menjadi :

- a. *Section 1* : *supply* udara primer, yang berfungsi untuk transfer *pulverized coal* dari *mill* ke boiler. Terdiri dari :
 - i. *Primary Air Fan* (PAF) A dan B, berfungsi untuk menaikkan *pressure* udara berupa *fan* sehingga dapat ditransfer ke dalam *boiler*. PAF A dan B mempunyai rangkaian paralel *2 out of 2*
 - ii. *Primary cold air duct* berfungsi sebagai media transfer udara berupa *ducting*, dengan rangkaian seri

- b. *Section 2* : *supply* udara sekunder, yang berfungsi untuk udara pembakaran utama ke *boiler*

Terdiri dari :

- i. *Forced Draft Fan* (FDF) A dan B, berfungsi untuk menaikkan *pressure* udara berupa *fan* sehingga dapat ditransfer ke dalam *boiler*. FDF A dan B mempunyai rangkaian paralel 2 out of 2
- ii. *Secondary cold air duct* berfungsi sebagai media transfer udara berupa ducting, dengan rangkaian seri

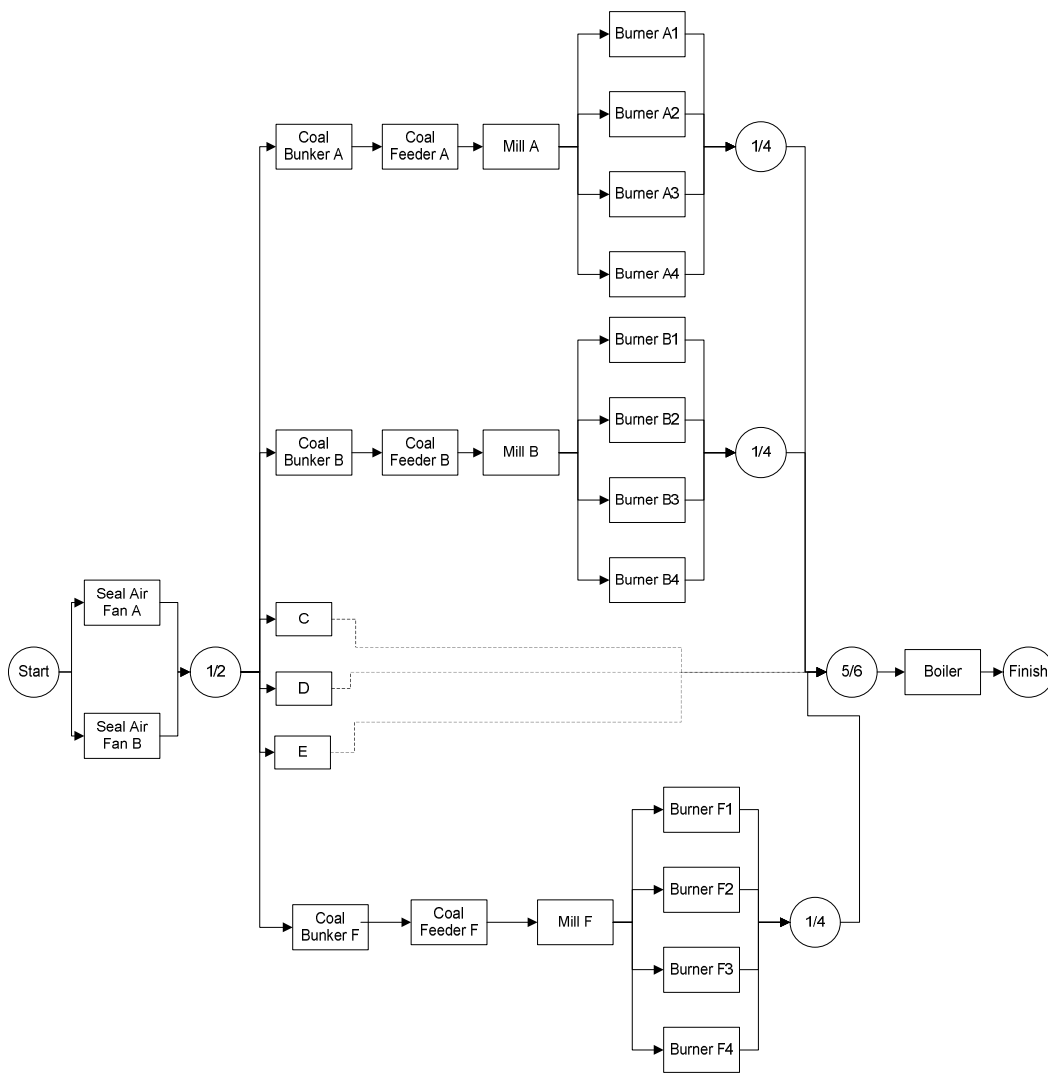
Section 1 dan *section 2* sebagai rangkaian paralel 2 out of 2

- c. *Section 3* : merupakan *supply* dari udara sekunder dan primer yang sudah mengalami proses pemanasan. Terdiri dari *section 3A* dan *B* yang membentuk rangkaian paralel 2 out of 2. Setiap *section* mempunyai *equipment* sebagai berikut :

- i. *Air Pre Heater*, mempunyai sistem rangkaian seri. Berfungsi sebagai pemanas udara primer dan sekunder yang mengambil kalor dari gas buang.
- ii. *Secondary hot air duct* dan *primary hot air duct*, mempunyai sistem rangkaian paralel, berfungsi untuk media alir udara panas berupa *ducting* masuk ke dalam *boiler*
- iii. *Flue gas duct*, mempunyai sistem rangkaian seri , berfungsi untuk media alir gas buang berupa *ducting* keluar *boiler*
- iv. *Electrostatic precipitator (ESP)*, mempunyai sistem rangkaian *degraded* berfungsi untuk menangkap *ash* sisa pembakaran yang terbawa gas buang, berupa ruangan dengan elemen elektroda penangkap debu
- v. *Induced Draft Fan (IDF)* mempunyai sistem rangkaian seri, berfungsi untuk menjaga *pressure* udara bakar boiler berupa *axial fan*.

- d. *Stack* : berupa cerobong untuk membuang udara bakar ke udara bebas, mempunyai sistem rangkaian seri.

f. Boiler Furnace System



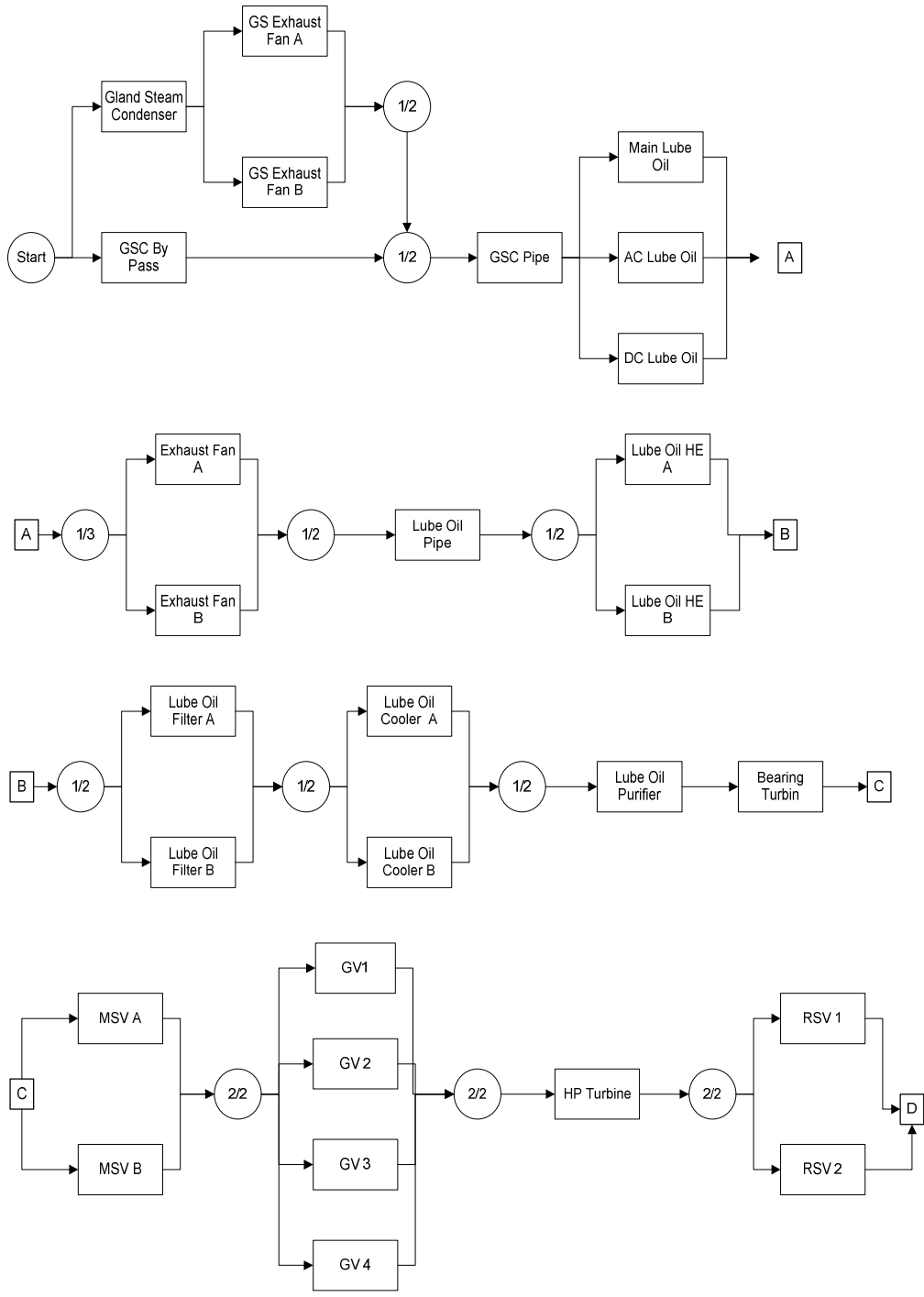
Gambar 4.9 RBD Boiler Furnace System

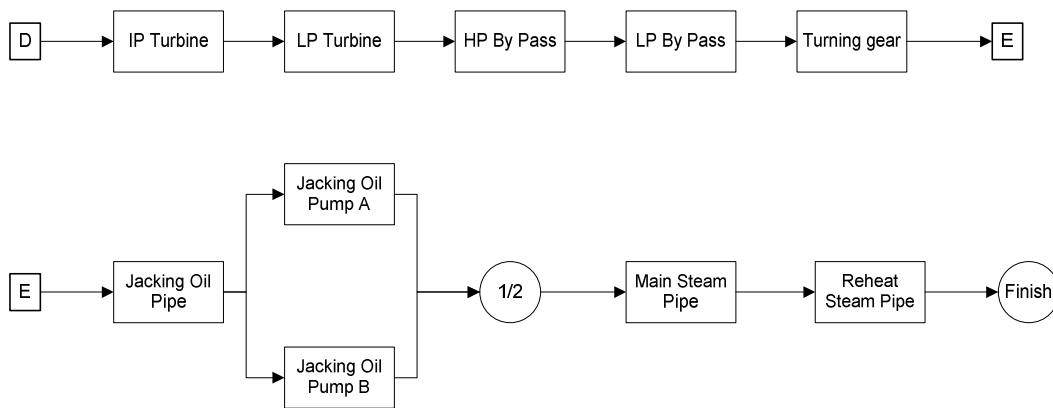
Boiler furnace system berfungsi untuk sebagai fasilitas terjadinya proses pembakaran, dimulai dari proses penggilingan batubara , pembakaran, perubahan fasa dari *water* menjadi *steam* . *System* ini dibagi menjadi :

- *Seal air fan*, mempunyai sistem rangkaian paralel *1 out of 2*. *Equipment* ini berfungsi untuk mensirkulasikan udara *sealing*
- *Subsystem coal feeder dan mill*, yang mempunyai *6 section* dengan sistem rangkaian paralel *5 out of 6*. Setiap *section* terdiri dari :
 - *Coal bunker*, mempunyai sistem rangkaian seri. *Equipment* ini adalah *atmospheric vessel* untuk menampung batu bara sebelum masuk ke dalam *coal feeder*
 - *Coal feeder*, mempunyai sistem rangkaian seri. *Equipment* ini adalah *belt conveyor* sebagai pengumpan dan kontrol *flow* batubara dari *coal bunker* masuk ke dalam *mill*
 - *Mill/pulveriser*, mempunyai sistem rangkaian seri, *Equipment* ini berfungsi untuk menghaluskan batubara sampai ukuran mesh tertentu supaya dapat ditransfer dengan menggunakan hembusan *primary air*.
 - *Burner A-F*, mempunyai rangkaian paralel *1 out of 4*. *Equipment* ini berfungsi sebagai *nozzle spray pulverised coal* dan udara untuk membentuk api.
- *Economizer*, mempunyai rangkaian seri, berupa *tube* dengan media didalamnya adalah *water*. Kalor dari *flue gas* memanaskan *tube* secara konveksi. *Tube* melakukan transfer kalor kedalam *water* yang berada di sisi dalamnya secara konduksi.
- *Water wall*, mempunyai rangkaian seri, berupa *tube* dengan media didalamnya adalah *water*. Kalor hasil pembakaran memanaskan *tube* secara radiasi dan konveksi. *Tube* melakukan transfer kalor kedalam *water* yang berada di sisi dalamnya secara konduksi.
- *Steam drum*, mempunyai rangkaian seri, berupa *pressure vessel* yang mempunyai fungsi sebagai penampung dan pemisah antara *steam* dan *water*.

- *Downcomer* mempunyai rangkaian seri, berupa pipa yang mempunyai fungsi sebagai media transfer *water* untuk disirkulasi kembali ke *water wall*.
- *Superheater* mempunyai rangkaian seri berupa tube dengan media didalamnya adalah *steam*. Kalor yang dikandung dalam *flue gas* memanaskan *tube* secara konveksi. *Tube* melakukan transfer kalor kedalam *water* yang berada di sisi dalamnya secara konduksi.
- *Reheater* mempunyai rangkaian seri berupa *tube* dengan media didalamnya adalah *steam*. Kalor yang dikandung dalam *flue gas* memanaskan *tube* secara konveksi. *Tube* melakukan transfer kalor kedalam *water* yang berada di sisi dalamnya secara konduksi.
- *Subsystem sootblower*, yang mempunyai sistem rangkaian degradasi (*degraded system*). Desain *plant* yang dipergunakan dalam penelitian ini memampukan *plant* tetap beroperasi dengan penuh walaupun *subsystem sootblower* dalam kondisi *down*, sehingga degradasi *subsystem sootblower* tidak diperhitungkan sebagai *failure*. *Subsystem* ini terdiri dari :
 - *Sootblowing pipeline*, mempunyai rangkaian seri berupa pipa sebagai media alir *steam* untuk penghembus debu.
 - IK *sootblower*, mempunyai rangkaian paralel , berupa *equipment* untuk menghembus debu keluar dari *boiler* pada sisi konveksi
 - IR *sootblower* mempunyai rangkaian paralel , berupa *equipment* untuk menghembus debu keluar dari *boiler* pada sisi radiasi

g. Turbine System





Gambar 4.10 RBD Turbine System

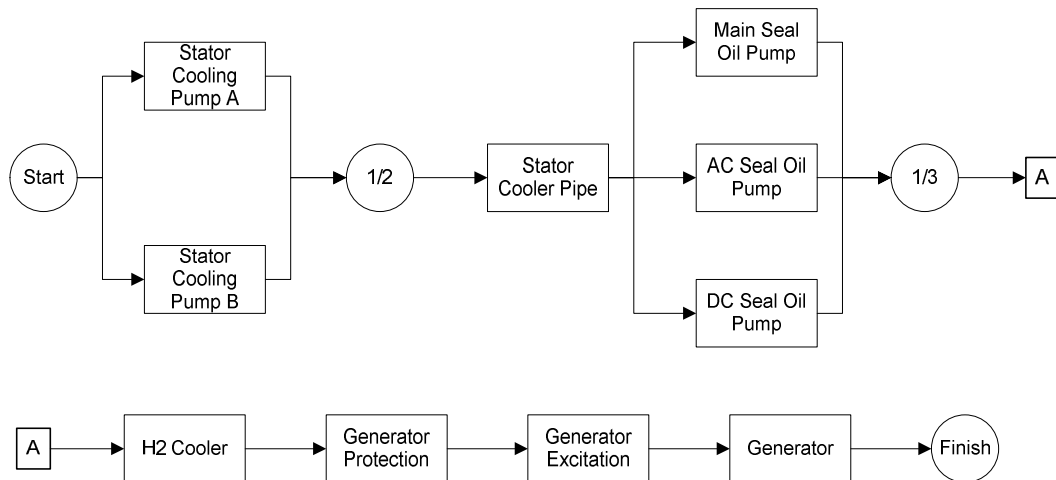
Turbine system mempunyai fungsi sebagai pengubah energi kalor dari *steam* menjadi energi gerak untuk memutar generator. *Turbine system* terdiri dari :

- a. *Subsystem Gland Steam Condenser (GSC)*. GSC mempunyai fungsi untuk fasilitas kondensasi dari uap glandseal dari *turbine*. *Subsystem* ini terdiri dari :
 - i. *GSC by pass*, mempunyai sistem rangkaian paralel, berfungsi sebagai *line by pass* apabila *section GSC* tidak diaktifkan.
 - ii. *Section GSC*, yang terdiri dari :
 - a) *Gland steam condenser (GSC)*, yang mempunyai sistem rangkaian seri. Berfungsi untuk mengkondensasikan steam yang berupa *heat exchanger* tipe *shell and tube*.
 - b) *GSC Exhaust Fan A dan B*, yang mempunyai sistem rangkaian paralel *1 out of 2*. Berfungsi untuk pengkondisian vacuum di gland steam condenser dengan menggunakan exhaust fan
- b. *GSC pipe*, yang mempunyai sistem rangkaian seri. Berfungsi untuk media pipa transfer *water* hasil kondensasi
- c. *Lube oil pump (main lube oil pump, ac lube oil pump, dc lube oil pump)* yang mempunyai sistem rangkaian paralel *1 out of 3*. Berfungsi untuk menaikkan *pressure* pelumas sehingga dapat bersirkulasi sebagai film pada bearing pada saat *turbine* dalam kondisi beroperasi dengan menggunakan pompa vertikal.

- d. *Exhaust fan* A dan B yang mempunyai sistem rangkaian paralel *1 out of 2*. Berfungsi untuk pengkondisian vacuum di tangki pelumas dengan menggunakan *exhaust fan*
- e. *Lube oil pipe*, yang mempunyai sistem rangkaian seri. Berfungsi untuk media pipa transfer pelumas untuk bersirkulasi dari tangki ke *bearing turbine* dan *generator*
- f. *Lube oil heat exchanger* A dan B mempunyai sistem rangkaian paralel *1 out of 2*. Equipment ini berfungsi untuk mengambil panas dari pelumas dan mengalirkannya ke *close cooling water*, dengan menggunakan *heat exchanger* tipe *plate*.
- g. *Lube oil filter* A dan B mempunyai sistem rangkaian paralel *1 out of 2*. *Equipment* ini berfungsi untuk menyaring partikel yang terbawa oleh pelumas supaya tidak masuk kedalam *bearing-bearing*.
- h. *Lube oil cooler* A dan B mempunyai sistem rangkaian paralel *1 out of 2*. *Equipment* ini berfungsi untuk mengambil panas dari pelumas dan mengalirkannya ke *close cooling water*, dengan menggunakan *heat exchanger* tipe *shell and tube*.
- i. *Lube oil purifier* mempunyai sistem rangkaian seri. *Equipment* ini berfungsi untuk menurunkan kadar air dalam pelumas.
- j. *Bearing turbine* mempunyai sistem rangkaian seri.
- k. *Main Stop Valve* (MSV) , mempunyai sistem rangkaian paralel *2 out of 2* . *Equipment* ini merupakan valve utama dengan fungsi *open* dan *close* main *steam* masuk ke dalam *HP turbine*.
- l. *Reheat Stop Valve* (RSV), mempunyai sistem rangkaian paralel *2 out of 2* . *Equipment* ini merupakan *valve* utama dengan fungsi *open* dan *close* *reheat steam* masuk ke dalam *IP turbine*.
- m. *High Pressure* (HP) *Turbine*, mempunyai sistem rangkaian seri. *Equipment* ini berfungsi untuk mengkonversi energi kalor dari *main steam* dari MSV menjadi energi gerak.
- n. *Intermediate Pressure* (IP) *Turbine*, mempunyai sistem rangkaian seri. *Equipment* ini berfungsi untuk mengkonversi energi kalor dari *reheat steam* dari RSV menjadi energi gerak.

- o. *Low Pressure (LP) Turbine*, mempunyai sistem rangkaian seri. *Equipment* ini berfungsi untuk mengkonversi energi kalor steam dari *IP turbine* menjadi energi gerak.
- p. *High Pressure (HP) By Pass Valve*, mempunyai sistem rangkaian seri. *Equipment* ini berfungsi untuk melakukan *by pass main steam* dari *boiler* ke *IP Turbine* pada saat start atau *shutdown plant*
- q. *Low Pressure (LP) By Pass Valve*, mempunyai sistem rangkaian seri. *Equipment* ini berfungsi untuk melakukan *by pass steam* dari *IP turbine* ke *condenser* pada saat start atau *shutdown plant*
- r. *Turning gear* , mempunyai sistem rangkaian seri. *Equipment* ini berfungsi untuk memutar *turbine* dengan putaran 50 rpm pada saat *turbine* kondisi off dalam temperatur di atas 150 C. Tujuan pemutaran adalah mencegah terjadinya *bending* pada rotor *turbine* karena berhenti berputar pada temperatur tinggi
- s. *Jacking oil pipe* , yang mempunyai sistem rangkaian seri. Berfungsi untuk media pipa transfer *jacking oil* dari tanki pelumas ke *jacking oil pump*.
- t. *Jacking oil pump A dan B*, mempunyai sistem rangkaian paralel *1 out of 2*. *Equipment* ini berfungsi untuk menaikkan *pressure* sejumlah kecil *flow oil* pelumas sehingga dapat dipergunakan sebagai *jacking* (mengangkat rotor *turbine* sampai ketinggian 0,03 mm) pada saat *turbine* dalam proses turning (memutar *turbine* dengan putaran 50 rpm pada saat *turbine* kondisi off dalam temperatur di atas 150 C)
- u. *Main steam pipe* ,yang mempunyai sistem rangkaian seri. Berfungsi untuk media pipa transfer *main steam* dari *boiler* menuju MSV
- v. *Reheat steam pipe* ,yang mempunyai sistem rangkaian seri. Berfungsi untuk media pipa transfer *reheat steam* dari *boiler* menuju RSV

h. Generator System

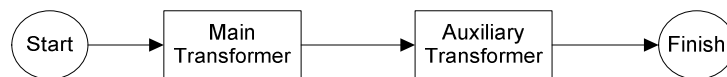


Gambar 4.11. RBD *Generator System*

Generator system ini berfungsi untuk mengkonversi energi gerak dari turbin menjadi energi listrik. *Generator system* terdiri dari :

- a. *Stator cooling pump* A dan B, mempunyai sistem rangkaian paralel *1 out of 2*. *Equipment* ini berfungsi untuk sirkulasi *cooling water* untuk mendinginkan *stator coil generator*.
- b. *Stator cooling pipe* yang mempunyai sistem rangkaian seri. Berfungsi untuk media pipa transfer *cooling water* dari *stator cooling pump*
- c. *Stator cooling heat exchanger* A dan B ,mempunyai sistem rangkaian paralel *1 out of 2*. *Equipment* ini berfungsi untuk mengambil panas dari *stator cooling water* dan mengalirkannya ke *close cooling water*, dengan menggunakan *heat exchanger* tipe *shell and tube*.
- d. *Seal oil pump*, terdiri dari *Main Seal Oil Pump*, *AC Seal Oil Pump*, *DC Seal Oil Pump* mempunyai sistem rangkaian paralel *1 out of 3*. *Equipment* ini berfungsi untuk sirkulasi *seal oil* untuk fungsi *sealing* bagi h2 agar tidak bocor keluar dari *generator*
- e. *H2 cooler*, yang mempunyai sistem rangkaian seri. *Equipment* ini berfungsi untuk mendinginkan H2 dengan mentransfer kalor ke *close cooling water* dengan menggunakan *heat exchanger* tipe *shell and tube*

- f. *Generator protection*, yang mempunyai sistem rangkaian seri. *Equipment* ini berfungsi untuk sebagai pengaman *generator* yang terdiri dari relay proteksi
 - g. *Generator excitation*, yang mempunyai sistem rangkaian seri. *Equipment* ini berfungsi untuk sebagai pengatur voltase dari *power* keluar *generator*
 - h. *Generator*, yang mempunyai sistem rangkaian seri. *Equipment* ini berfungsi untuk mengkonversi energi gerak menjadi energi listrik
- i. *Output Power System*

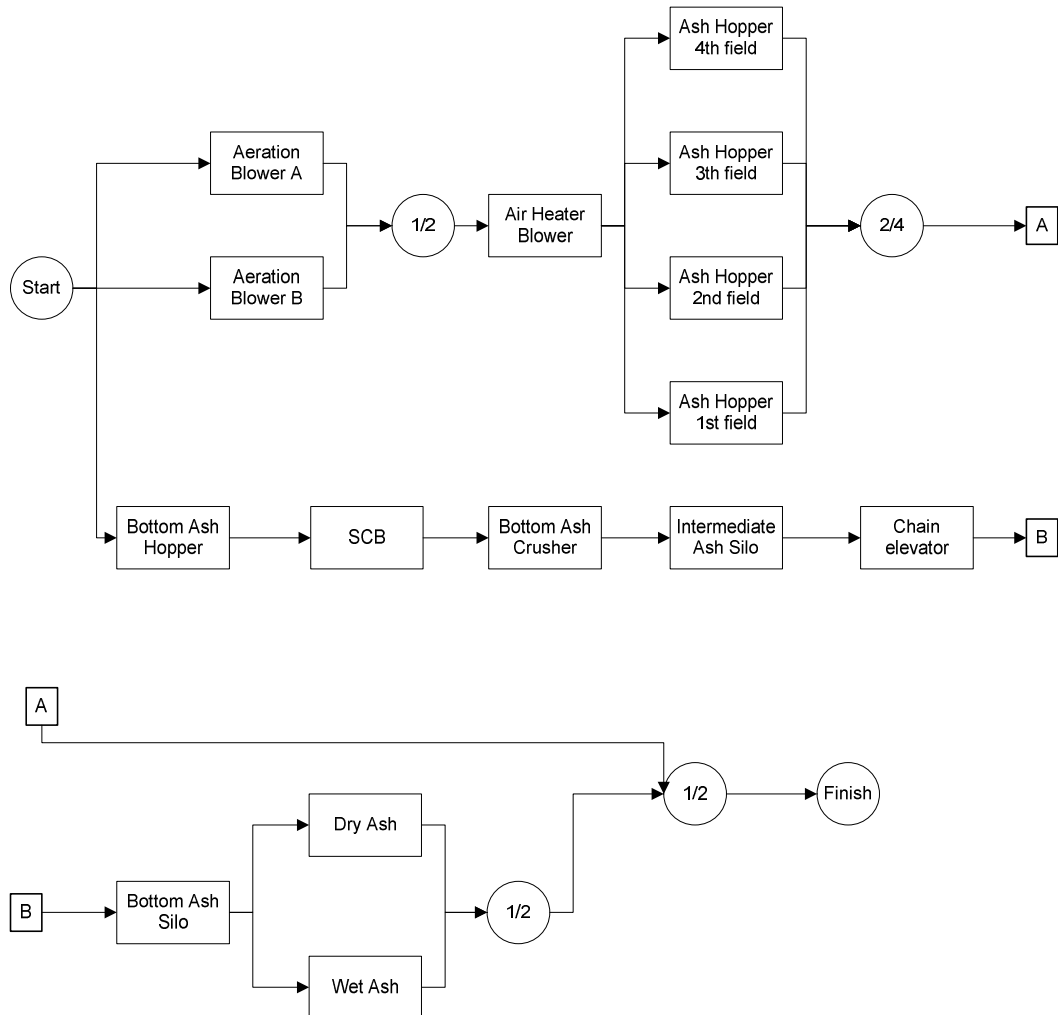


Gambar 4.12 RBD *Out Power System*

Output power system berfungsi untuk menyalurkan daya output dari *generator* baik untuk pemakaian sendiri atau untuk disalurkan ke jaringan luar. *System* ini terdiri dari :

- a. *Main transformer*, yang mempunyai rangkaian sistem seri. *Equipment* ini berfungsi untuk menaikkan tegangan generator dari 20 kV menjadi 150 kV untuk dapat ditransfer ke jaringan luar
- b. *Auxiliary transformer*, yang mempunyai rangkaian sistem seri. *Equipment* ini berfungsi untuk transfer power dari output generator untuk pemakaian sendiri.

j. *Ash Handling System*



Gambar 4.13 RBD *Ash Handling System*

Ash handling system mempunyai fungsi untuk mengeluarkan *bottom ash* dan *fly ash* sisa pembakaran dari dalam *boiler*. Terdiri dari *section fly ash* dan *section bottom ash* dengan rangkaian *pararel 2 out of 2*. Detail *equipment* adalah sebagai berikut :

- a. *Section fly ash*, mempunyai fungsi untuk mengeluarkan *fly ash* hasil pembakaran keluar dari *boiler*, yang terdiri dari :
 - i. *Aeration blower A* dan *B*, mempunyai sistem rangkaian *pararel 2 out of 2*. *Equipment* ini berfungsi untuk *blowing* udara transport *fly ash*.

- ii. *Air heater blower*, mempunyai sistem rangkaian seri. *Equipment* ini berfungsi untuk menjaga tingkat kekeringan *fly ash* supaya tidak menyebabkan *plugging* pada pipa transport..
 - iii. *Ash hopper 1-4*, mempunyai sistem rangkaian paralel *1 out of 4*. *Equipment* ini berfungsi untuk penampung *fly ash* yang ditransport dari *air heater blower*
- b. *Section bottom ash* mempunyai fungsi untuk mengeluarkan *bottom ash* hasil pembakaran keluar dari *boiler*, yang terdiri dari :
- i. *Bottom ash hopper*, mempunyai sistem rangkaian seri. *Equipment* ini berfungsi untuk menampung *slagging* yang jatuh dari *boiler* bagian atas.
 - ii. *Steel conveyer belt (SCB)*, mempunyai sistem rangkaian seri. *Equipment* ini berfungsi untuk mengangkut *bottom ash* yang terkumpul dalam *bottom ash hopper* ke *intermediate silo*
 - iii. *Bottom ash crusher* , mempunyai sistem rangkaian seri. *Equipment* ini berfungsi untuk menggiling *bottom ash* sehingga menjadi lebih kecil ukurannya
 - iv. *Intermediate ash silo*, mempunyai sistem rangkaian seri. *Equipment* ini berfungsi untuk menampung *bottom ash* dalam ukuran yang sudah mengalami penggilingan oleh *bottom ash crusher*
 - v. *Chain elevator*, mempunyai sistem rangkaian seri. *Equipment* ini berfungsi untuk memindah *bottom ash* dari *intermediate silo* ke *fly ash silo*
 - vi. *Fly ash silo*, mempunyai sistem rangkaian seri. *Equipment* ini berfungsi untuk menampung *bottom ash* yang berasal dari *intermediate ash silo*

- vii. *Dry ash* dan *Wet ash*, mempunyai sistem rangkaian paralel *1 out of 2. Equipment* ini berfungsi untuk memindah *bottom ash* dari *fly ash silo* ke *truck* untuk dibuang ke *ash yard*

4.2.2. Menghitung Nilai Dampak

Penghitungan dampak *failure* setiap *equipment* akan dilihat dengan mempergunakan tabel 3.9 Kriteria Dampak Risiko Baru. Di bawah ini akan dilakukan penghitungan untuk *equipment* dengan nilai *probability* 5 :

a. *Generator excitation*

MTTR : 94,22 jam

DC : 0,3

Katagori critical asset :

karena MTTR 94,22 jam maka dampak untuk kriteria ini adalah “1.1” Kerusakan *critical asset* hanya membutuhkan perbaikan minor, atau beberapa hari atau TIDAK SIGNIFIKAN

Katagori keselamatan jiwa :

Kerusakan tidak mempunyai potensi apapun terhadap personil yang bertugas karena mempunyai desain isolasi yang baik

Katagori lingkungan :

Kerusakan tidak mempunyai potensi dampak apapun terhadap lingkungan karena berupa komponen relay proteksi

Katagori teknologi :

Perbaikan tidak memerlukan proses repair workshop atau teknologi khusus

Katagori supply tenaga listrik :

Menggunakan rumus no (57)

$$DT = \frac{94,22 \times 0,3}{24}$$

$$= 1,177 \text{ hari (d)}$$

Nilai dampak untuk kriteria ini adalah “5.4. Down time: 1 hari sampai dengan 1 minggu” atau SIGNIFIKAN.

Katagori opportunity loss :

Menggunakan rumus no (58)

$$\begin{aligned} OP &= 330.000 \text{ (kW)} \times 94,22 \text{ (h)} \times \text{Rp.}661,3 \text{ /kWh} \times 0,88 \times 0,3 \\ &= \text{Rp. } 5.428.245.604,- \end{aligned}$$

Nilai dampak untuk kriteria ini adalah “6.2. Rp 500 juta s.d Rp. 50 milyar” atau MINOR.

Berdasarkan penilaian dari 6 katagori, diperoleh nilai dampak yang berbeda. Sebagai nilai dampak akhir dipilih yang paling besar yaitu pada katagori ke 5 supply tenaga listrik dengan nilai 4.

b. Coal feeder 1C

MTTR : 90 jam

Nilai DC dapat dilihat dari RBD pada gambar 4.9 RBD Boiler Furnace System, dimana apabila disaat tidak ada *section* (dari *coal bunker* sampai *burner*) yang standby oleh karena *failure* atau proses perbaikan, tiba tiba satu unit *coal feeder down*, maka akan menyebabkan sistem berkurang outputnya karena terjadi *down* pada satu *section* lagi, sehingga hanya akan ada 4 *section* dari 5 *section* yang diperlukan untuk sistem bisa beroperasi normal. Desain rangkaian reliability adalah 5 out to 6 *Derating capacity* (DC) diperoleh dari

$$\begin{aligned} DC &= 1/5 \\ &= 0,2 \end{aligned}$$

Katagori critical asset :

karena MTTR 90 jam maka dampak untuk kriteria ini adalah “1.1 Kerusakan *critical asset* hanya membutuhkan perbaikan minor, atau beberapa hari” atau TIDAK SIGNIFIKAN

Katagori keselamatan jiwa :

Kerusakan tidak mempunyai potensi apapun terhadap personil yang bertugas karena mempunyai desain isolasi yang baik

Katagori lingkungan :

Kerusakan tidak mempunyai potensi dampak apapun terhadap lingkungan karena berupa komponen relay proteksi

Katagori teknologi :

Perbaikan tidak memerlukan proses repair workshop atau teknologi khusus

Katagori supply tenaga listrik :

$$DT = \frac{90 \times 0,2}{24}$$
$$= 0,75 \text{ hari (d)}$$

Nilai dampak untuk kriteria ini adalah “5.3. Down time: 12 jam sampai dengan 1 hari” atau MEDIUM.

Katagori opportunity loss :

$$OP = 330.000 \text{ (kW)} \times 90 \text{ (h)} \times \text{Rp.}661,3 \text{ /kWh} \times 0,88 \times 0,2$$
$$= \text{Rp. } 3.456.747.360,-$$

Nilai dampak untuk kriteria ini adalah “6.2. Rp 500 juta s.d Rp. 50 milyar” atau MINOR.

Berdasarkan penilaian dari 6 katagori, diperoleh nilai dampak yang berbeda. Sebagai nilai dampak akhir dipilih yang paling besar yaitu pada katagori ke 5 supply tenaga listrik dengan nilai 3.

c. *Coal feeder 1A*

Coal feeder 1A secara desain merupakan *identical unit* terhadap *coal feeder 1C* walaupun dari realisasi data *failure* tidak identik. Sebagai pendekatan, untuk kelompok *equipment* yang secara desain adalah *identical unit*, nilai dampak dapat didekati dengan *equipment* yang mempunyai MTTR paling tinggi sehingga akan didapat nilai dampak tertinggi. Nilai *range* dampak relatif lebar sehingga tidak terdapat perbedaan signifikan nilai dampak pada *equipment* dengan desain *identical unit*. *Coal feeder 1A* disimpulkan sebagai nilai dampak akhir dipilih yang paling besar yaitu pada katagori ke 5 *supply* tenaga listrik dengan nilai 3.

Terdapat 9 *equipment* dengan nilai dampak 5 yaitu *generator*, *air pre heater A* dan *B*, *boiler*, *main transformer*, *IP turbine*, *LP turbine*, *HP turbine*, *auxiliary transformer*.

Terdapat 13 *equipment* dengan nilai dampak 4 yaitu *generator excitation*, *circulating water pump A* dan *B*, *ID Fan A* dan *B*, *Debris Filter A* dan *B*, *Travelling Screen A* dan *B*, *Primary Air Fan A* dan *B*, *Forced Draft Fan A* dan *B*.

Terdapat 18 *equipment* dengan nilai dampak 3 yaitu *coal feeder A-F*, *coal pulveriser (mill) A-F*, *governor valve*, *condensate pump A* dan *B*, *boiler feed pump A-C*

Terdapat 23 *equipment* dengan nilai dampak 2 yaitu *battery*, *bearing turbine*, *chain elevator*, *condenser A* dan *B*, *EH Oil Pump A* dan *B*, *Electrostatic Precipitator A* dan *B*, *Emergency PC*, *Fire Protection System*, *Generator Protection*, *HP By Pass*, *Instrument Control & DCS*, *LP By Pass*, *MCC*, *Medium Voltage Transformer*, *Reheat Steam Valve A* dan *B*, *Turbine Supervisory Instrument*, *UPS DC Station*, *Vacuum Pump A* dan *B*.

Equipment dengan nilai dampak 1 adalah sebanyak 144.

Detail hasil analisa dampak untuk *equipment* lain dapat dilihat pada lampiran 3.

4.2.3. Klasifikasi Katagori Risiko Equipment Berdasarkan *Criticality Risk Matrix*

Penghitungan nilai probability (4.1.2) dan nilai dampak (4.2.2) sudah dilaksanakan. Langkah selanjutnya adalah melakukan klasifikasi equipment berdasarkan katagori risiko. Katagori risiko ditentukan melalui perkalian nilai probability dengan nilai dampak. Dari hasil perkalian tersebut dapat diperoleh katagori equipment dengan mempergunakan *criticality risk matrik* pada tabel 3.5 *Criticality Risk Matrix* (Lam. Kep. Dir. PT.PJB 2014).

Hasil dari proses klasifikasi yang mempunyai katagori risiko ekstrem, tinggi dan medium dapat dilihat pada tabel 4.7. Peralatan dengan katagori risiko rendah dapat dilihat pada lampiran 4.

Tabel 4.7. Hasil Klasifikasi Berdasarkan Katagori Risiko

No	Desc. RBD	Nilai Prob	Nilai Dampak	PxD	Risiko
1	INDUCED DRAFT FAN #1B	4	4	16	Ekstrem
2	GENERATOR #1	3	5	15	Ekstrem
3	AIR PREHEATER #1A	3	5	15	Ekstrem
4	AIR PREHEATER #1B	3	5	15	Ekstrem
5	BOILER	2	5	10	Ekstrem
6	MAIN TRANSFORMER #1	1	5	5	Ekstrem
7	IP TURBIN #1	1	5	5	Ekstrem
8	LP TURBINE #1	1	5	5	Ekstrem
9	HP TURBINE #1	1	5	5	Ekstrem
10	AUXILARY TRANSFORMER #1	1	5	5	Ekstrem
11	GENERATOR EXITATION #1	5	4	20	Tinggi
12	CIRCULATING WATER PUMP #1B	4	4	16	Tinggi

Tabel 4.7. Hasil Klasifikasi Berdasarkan Katagori Risiko (lanjutan)

No	Descripti on RBD	Nilai Prob.	Nilai Dam pak	PxD	Risiko
13	CIRCULA TING WATER PUMP #1A	4	4	16	Tinggi
14	COAL FEEDER #1C	5	3	15	Tinggi
15	COAL FEEDER #1A	5	3	15	Tinggi
16	DEBRIS FILTER #1A	3	4	12	Tinggi
17	TRAVEL LING SCREEN #1A	3	4	12	Tinggi
18	TRAVEL LING SCREEN #1B	3	4	12	Tinggi
19	COAL FEEDER #1B	4	3	12	Tinggi
20	COAL PULVERI ZER #1A	5	3	15	Tinggi
21	COAL PULVERI ZER #1B	5	3	15	Tinggi

No	Descriptst ion RBD	Nilai Prob.	Nilai Dam pak	Px D	Risiko
22	COAL PULVERI ZER #1C	5	3	15	Tinggi
23	COAL PULVERI ZER #1D	5	3	15	Tinggi
24	COAL PULVERI ZER #1E	5	3	15	Tinggi
25	GOVERN OOR VALVE A	3	3	9	Tinggi
26	GOVERN OOR VALVE B	3	3	9	Tinggi
27	GOVERN OOR VALVE C	3	3	9	Tinggi
28	GOVERN OOR VALVE D	3	3	9	Tinggi
29	DEBRIS FILTER #1B	3	4	12	Tinggi
30	CONDEN SATE PUMP #1A	3	3	9	Tinggi

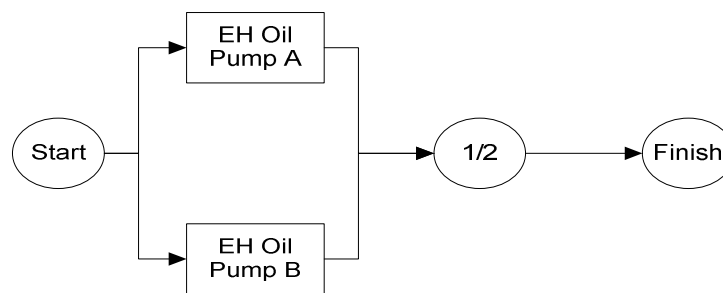
Tabel 4.7. Hasil Klasifikasi Berdasarkan Katagori Risiko (lanjutan)

No	Desc. RBD	Nilai Prob.	Nilai Dampak	PxD	Risiko	No	Desc. RBD	Nilai Prob.	Nilai Dampak	PxD	Risiko
31	BOILER FEEDWATER PUMP #1A	3	3	9	Tinggi	42	COAL FEEDER #1D	3	3	9	Moderat
32	PRIMARY AIR FAN #1A	2	4	8	Tinggi	43	CONDENSOR #1 B	3	2	6	Moderat
33	PRIMARY AIR FAN #1B	2	4	8	Tinggi	44	EH OIL PUMP A	5	2	10	Moderat
34	FORCED DRAFT FAN #1B	2	4	8	Tinggi	45	EH OIL PUMP b	3	2	6	Moderat
35	COAL PULVERIZER #1F	4	3	12	Tinggi	46	BOILER FEEDWATER PUMP #1B	1	3	3	Moderat
36	FORCED DRAFT FAN #1A	2	4	8	Tinggi	47	BOILER FEEDWATER PUMP #1C	1	3	3	Moderat
37	COAL FEEDER #1E	4	3	12	Tinggi	48	REHEAT STEAM VALVE #1A	3	2	6	Moderat
38	COAL FEEDER #1F	4	3	12	Tinggi	49	VACUUM PUMP #1A	3	2	6	Moderat
39	INDUCED DRAFT FAN #1A	5	4	20	Moderat	50	VACUUM PUMP #1B	3	2	6	Moderat
40	BOTTOM ASH SILO #1 - CHAIN ELEVATOR	5	2	10	Moderat	51	CONDENSATE PUMP #1B	1	3	3	Moderat
41	CONDENSOR #1 A	3	2	6	Moderat						

Kategori risiko rendah terdapat 159 *equipment*. Detail hasil klasifikasi kategori risiko dapat dilihat pada lampiran 4.

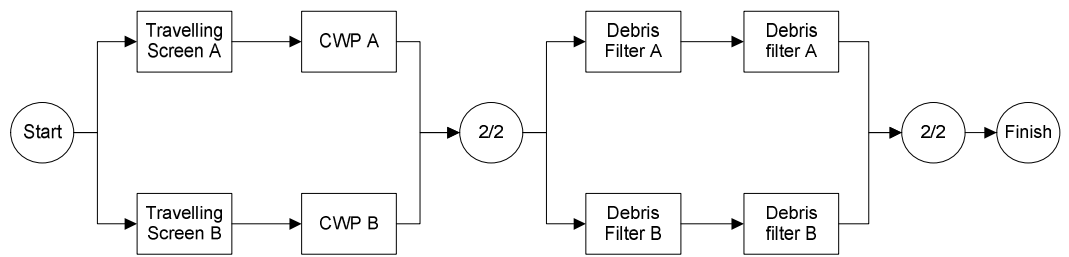
Analisa selanjutnya hanya akan melibatkan *equipment* dengan kategori risiko ekstrem, tinggi dan moderat (51 *equipment*) sedangkan *equipment* dengan kategori risiko rendah (159 *equipment*) dapat diabaikan. Perubahan RBD juga akan diperoleh, yaitu dengan mengeleminasi *equipment* atau *system* yang tidak termasuk kategori risiko ekstrem, tinggi dan moderat. Perubahan RBD disampaikan sebagai berikut :

- a. *Plant Control System*, *equipment* yang mempunyai kategori risiko rendah dieleminasi, yaitu *Instrument Controls & DCS* dan *TSI System*, sehingga RBD menjadi



Gambar 4.14. RBD *Plant Control System Revisi 1*

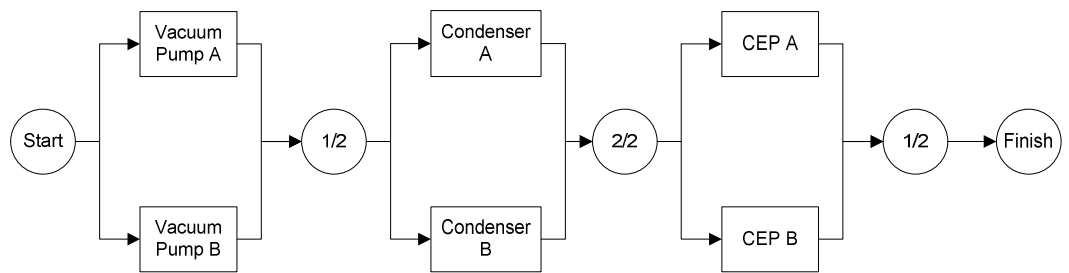
- b. *Input Power System* dieleminasi, karena seluruh *equipment* mempunyai kategori risiko rendah
- c. *Cooling water system*
Equipment dengan kategori risiko rendah dieleminasi, yaitu *Bar Screen A* dan *B*, *Filter HE OCCW A* dan *B*, *Cooling Water HE A* dan *B*, *CCCWP A* dan *B* dan *CCCW pipe*, sehingga RBD berubah menjadi sebagai berikut :



Gambar 4.15. RBD *Cooling Water Pump* Revisi 1

d. *Condensate System*

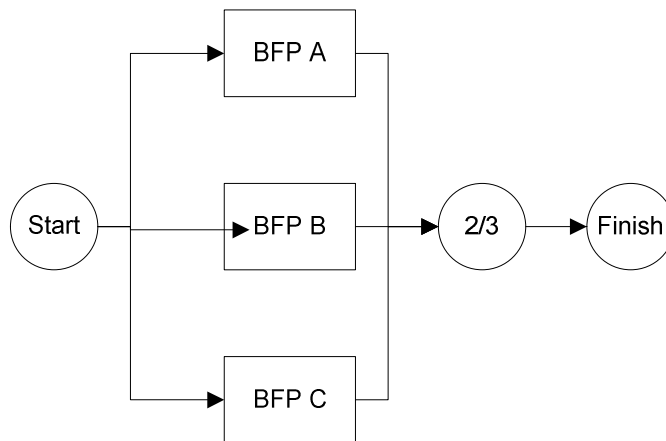
Equipment dengan katagori risiko rendah dieleminasi, yaitu *Condensate Pipe*, *CPP & CPP By Pass*, *GSC & GSC By Pass*, *LPH 1-4* dan *By Pass*, sehingga RBD berubah menjadi sebagai berikut :



Gambar 4.16. RBD *Condensate System* Revisi 1

e. *Feed Water System*

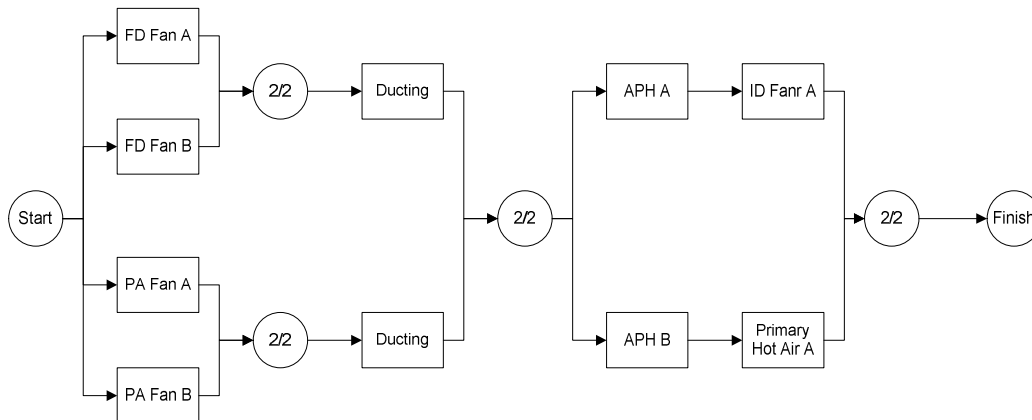
Equipment dengan katagori risiko rendah dieleminasi, yaitu *deaerator*, *BFP pipe*, *HPH 6*, *HPH 7* dan *HPH By Pass*, sehingga RBD berubah menjadi sebagai berikut :



Gambar 4.17. *Feed Water System* Revisi 1

f. *Flue Gas System*

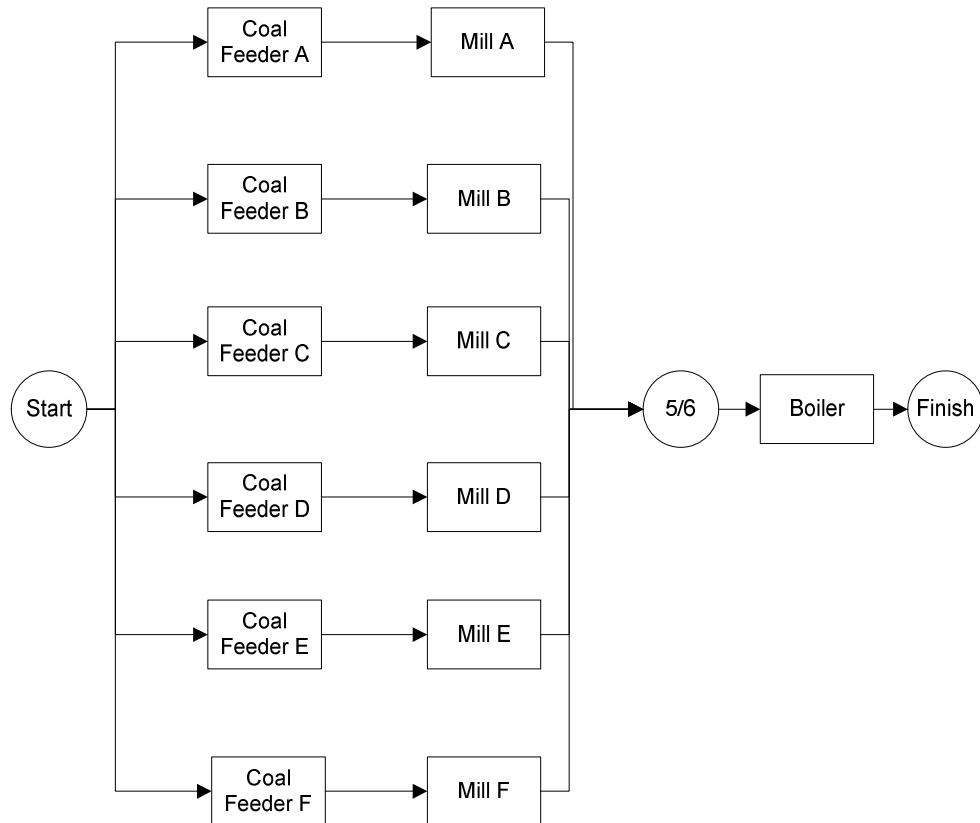
Equipment dengan katagori risiko rendah dieleminasi, yaitu *Primary Cold Air Duct*, *Secondary Cold Air Duct*, *Primary Hot Air A* dan *B*, *Secondary Hot Air A* dan *B*, *Flue gas Duct A* dan *B*, *ESP A* dan *B* dan *Stack* sehingga RBD berubah menjadi sebagai berikut :



Gambar 4.18. RBD *Flue Gas System* Revisi 1

g. *Boiler Furnace System*

Equipment dengan katagori risiko rendah dieleminasi, yaitu *Seal Air Fan A dan B, Coal Bunker A-F, Burner A1-F4, Sootblowing Piping, IK Sootblower* dan *IK Sootblower* sehingga RBD berubah menjadi sebagai berikut :

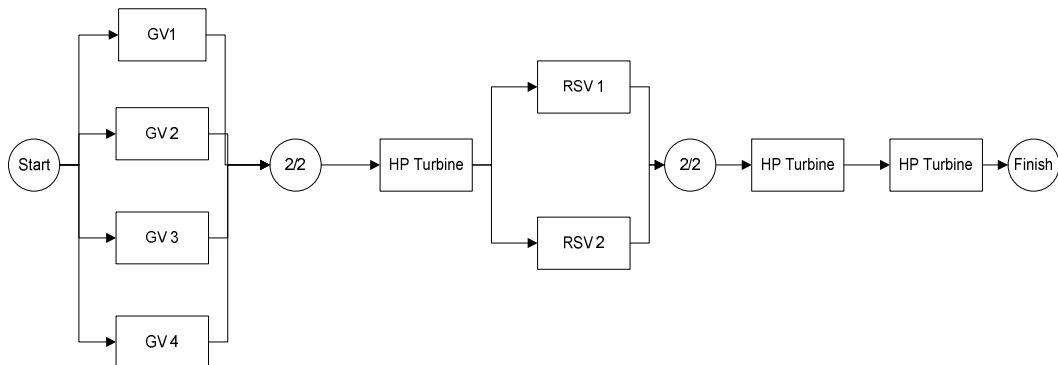


Gambar 4.19. RBD *Boiler Furnace System* Revisi 1

h. *Turbine System*

Equipment dengan katagori risiko rendah dieleminasi yaitu *GSC dan GSC By Pass, GS Exhaust Fan A dan B, GSC Pipe, Main Lube Pump, AC Lube Pump, DC Lube Pump, Exhaust Fan A dan B, Lube Oil Pipe, Lube Oil HE A dan B, Lube Oil Fiter A dan B, Lube Oil Cooler A dan B, Lube Oil Purifier, Bearing Turbine, MSV A dan B, HP By Pass Valve, LP By Pass Valve, Turning Gear, Jacking Oil Pipe, jacking Oil Pump A dan B, Main*

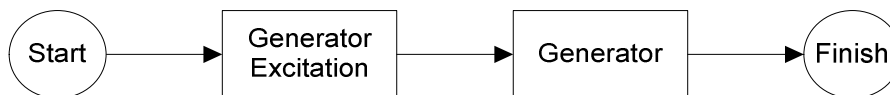
Steam Pipe, Reheat Steam Pipe sehingga RBD berubah menjadi sebagai berikut :



Gambar 4.20. *Turbine System* Revisi 1

i. *Generator System*

Equipment dengan katagori risiko rendah dieleminasi, yaitu *Stator Cooling Pump A dan B, Stator Cooler Pipe, Stator Cooling HE A dan B, Main Seal Oil Pump, AC Seal Oil Pump, DC Seal Oil Pump, H2 Cooler* dan *Generator Protection* sehingga RBD berubah menjadi sebagai berikut :



Gambar 4.21. RBD *Generator System* Revisi 1

j. *Output Power System*

Equipment dalam *system* ini tidak ada yang dieleminasi, sehingga RBD tetap

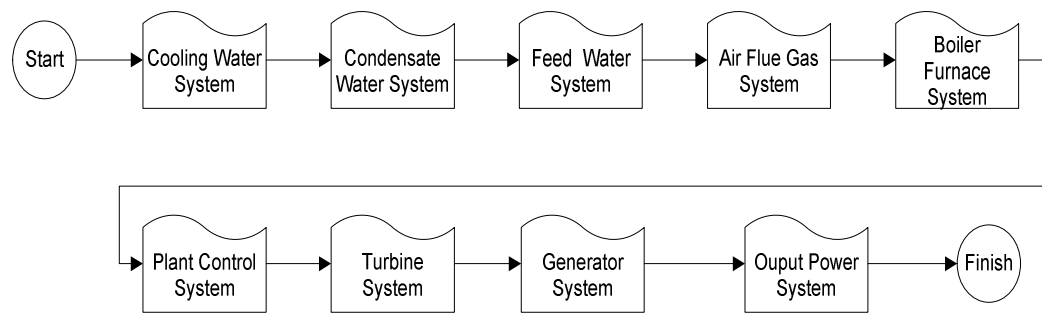
k. *Ash Handling System*

Equipment dengan katagori risiko rendah dieleminasi, yaitu *aeration blower A dan B, Air heater Blower, Ash Hopper 1-4, Bottom Ash Hopper, Bottom Ash Crusher, SCB, Bottom Ash Crusher, Intermediate Ash Silo, Bottom Ash Silo, Dry dan Wet Ash*, sehingga hanya tersisa *chain elevator*. *Ash Handling System* mempunyai rangkain sistem *degardeed*, dimana *failure*

pada *system* tersebut sama sekali tidak menimbulkan pengaruh kepada *reliabilty plant* sehingga tidak dilibatkan dalam RBD plant.

1. *Plant System*

Setelah dilakukan eliminasi pada beberapa *equipment* dan *system*, maka RBD *plant* disesuaikan sebagai berikut :



Gambar 4.22. RBD *Plant System* Revisi 1

4.3. Seleksi *Equipment* Yang Dapat Dilakukan *Overhaul* Pada Saat *Plant* Kondisi Operasi

Jumlah *equipment* menentukan tingkat kerumitan dalam penghitungan *reliability plant*. Dengan menseleksi *equipment* berdasarkan katagori resiko, dapat mengurangi tingkat kerumitan tersebut. Langkah di atas menghasilkan pengurangan *equipment* yang harus dimasukkan dalam analisa *reliability* dari semula 210 menjadi 51 *equipment*.

Langkah berikutnya adalah melakukan seleksi lanjutan, dengan tujuan menurunkan kembali jumlah *equipment* yang masuk dalam analisa. Analisa *reliability plant* diperlukan untuk menentukan interval optimal untuk dilakukan *shutdown plant* dalam rangka *overhaul*, sehingga dari 51 *equipment* yang tersisa perlu diseleksi *equipment* apa saja yang dapat dilaksanakan *overhaul* pada saat *plant* dalam kondisi operasi.

Syarat dari seleksi tersebut adalah :

- a. *Equipment* bersifat *redundant*, atau mempunyai rangkaian paralel minimal k out of n dimana $k < n$. Sifat *redundant* diperlukan supaya *system* tetap dapat menghasilkan *output* penuh pada saat *equipment* terkait *down* untuk dilakukan *overhaul*.
- b. Mempunyai *Mean Time Between Failure* (MTBF) *system* (dengan simulasi minus *equipment* terkait dalam kondisi *down* untuk *overhaul*) lebih besar daripada durasi yang diperlukan untuk *overhaul*. Apabila $MTBF >$ durasi *overhaul*, maka dapat dipastikan *system* tetap dapat menghasilkan *output* penuh karena sebelum terjadi *failure* berikutnya, *overhaul* diharapkan sudah selesai sehingga *system* tetap dalam kondisi tersedia *redundant*.

4.3.1. Menentukan *Equipment Yang Redundant*

Penentuan *equipment* yang *redundant* dapat dilihat pada bagian 4.2.3 pada pembahasan *Reliability Block Diagram* yang sudah direvisi. Hasil penentuan adalah dari 51 *equipment* diperoleh 21 *equipment* yang mempunyai rangkaian paralel minimal k out of n dimana $k < n$ adalah :

- a. *Plant Control System* : *EH Oil Pump A dan B*
- b. *Feed Water System* : *BFP A, B dan C*
- c. *Condensate System* :
 - i. *Vacuum Pump A dan B*
 - ii. *Condensate Extraction Pump A dan B*
- d. *Boiler Furnace System* :
 - i. *Coal Feeder A-Mill A*
 - ii. *Coal Feeder B-Mill B*
 - iii. *Coal Feeder C-Mill C*
 - iv. *Coal Feeder D-Mill D*
 - v. *Coal Feeder E-Mill E*
 - vi. *Coal Feeder F-Mill F*

Equipment tersebut dapat dieleminasi apabila mempunyai *MTBF system* (dengan simulasi minus *equipment* terkait dalam kondisi *down* untuk *overhaul*) lebih besar daripada durasi yang diperlukan untuk *overhaul*.

4.3.2. Menghitung MTBF

Berdasarkan RSP BlockSim (2018), MTBF yang akan dipergunakan adalah MTBF (*Total Time*), yaitu MTBF *system* berdasarkan total waktu simulasi, termasuk *system failure*. Waktu simulasi dipilih 6 tahun atau 52560 jam sesuai yang tertulis dalam IMIA WGP 42(05) (2005) bahwa GE merekomendasikan interval overhaul 5-6 tahun. Simulasi ini akan memberikan informasi *number failure*, MTBF yang mungkin terjadi dalam periode tersebut.

Hasil simulasi adalah seperti tabel 4.8. :

Tabel 4.8. Hasil Simulasi MTBF

No.	System	Equip. Dishutdown Untuk Overhaul	Dist.	Par.	N of Failures	MTBF (jam)	MTBF (hari)
1	Plant Control System	EH Oil Pump A	3P-weibull	Beta : 1,3385	10,871	4834,88	201,45
				Eta : 9657,468			
				Gamma : -720,46			
2	Plant Control System	EH Oil Pump B	3P-weibull	Beta : 1,4438	35,267	1490,35	62,1
				Eta : 5842,8322			
				Gamma : -792,3584			

Tabel 4.8. Hasil Simulasi MTBF (Lanjutan)

No.	System	Equip. Dishutdown Untuk Overhaul	Dist.	Par.	N of Failures	MTBF (jam)	MTBF (hari)
3	Condensate System	Condensate Extraction Pump A	2P-weibull	Beta : 0,9025	11,35	4630,84	192,95
				Eta : 3483,6238			
4		Condensate Extraction Pump B	3P-weibull	Beta : 1,00589	13,28	3948,8	164,53
				Eta : 3809,6040			
				Gamma : -32,469			
5		Vacuum Pump A	2P-weibull	Beta : 1,0377	11,898	4383,16	182,63
	Eta : 4364,615						
6	Vacuum Pump B	3P-weibull	Beta : 1,083	16,892	3111,53	129,65	
			Eta : 3186,719				
			Gamma : -259,320				

Tabel 4.8. Hasil Simulasi MTBF (Lanjutan)

No.	System	Equip. Dishutdown Untuk Overhaul	Dist.	Par.	N of Failures	MTBF (jam)	MTBF (hari)
7	Boiler Furnace System	Coal Feeder dan Mill A	2P-weibull	Beta : 1,3396	183,624	286,237	11,93
				Eta : 12950,0028			
8		Coal Feeder dan Mill B	1P-exponential	Mean time : 288,5353	200,532	262,103	10,92
9		Coal Feeder dan Mill C	3P-weibull	Beta : 1,160049	192,742	272,696	11,36
				Eta : 376,8311			
				Gamma : - 22,1330			
10		Coal Feeder dan Mill D	2P-weibull	Beta : 0,9218	196,391	267,629	11,15
				Eta : 287,8956			
11		Coal Feeder dan Mill E	2P-weibull	Beta : 0,9928	167,993	312,871	13,04
				Eta : 303,5165			
12		Coal Feeder dan Mill F	3P-weibull	Beta : 1,0243	204,047	257,588	10,73
				Eta : 303,7761			
	Gamma : - 7,6441						

Tabel 4.8. Hasil Simulasi MTBF (Lanjutan)

No.	System	Equip. Dishutdown Untuk Overhaul	Dist.	Par.	N of Failures	MTBF (jam)	MTBF (hari)
13	Feed Water System	Boiler Feed Pump A	2P-weibull	Beta : 1,0451	9,6976	5419,9	225,83
				Eta : 6022,1			
14		Boiler Feed Pump B	3P-weibull	Beta : 1,0213	7,8148	6725,7	280,24
				Eta : 7043,1239			
				Gamma : -32,8749			
15		Boiler Feed Pump C	3P-weibull	Beta : 1,0213	7,8148	6725,7	280,24
				Eta : 7043,1239			
				Gamma : -32,8749			

Keterangan :

Diambil contoh adalah pada *Boiler Furnace System*, sesuai RBD Gambar 4.19. RBD *Boiler Furnace System* Revisi 1, dimana *Coal Feeder A* dan *Mill A* membentuk rangkaian seri, sehingga jika *Coal Feeder A* dilakukan *shutdown* untuk *overhaul*, maka konsekuensinya *Mill A* juga akan *shutdown*. Hal tersebut menyebabkan perlunya dilakukan simulasi pada *system* pada saat *Coal Feeder A* dan *Mill A* *shutdown*. Dari simulasi ketika *Coal Feeder A* dan *Mill A* *shutdown*, maka *Boiler Furnace System* mempunyai MTBF 286,237 jam dengan jumlah *expected failures* 183,624 dalam periode 52560 jam operasi.

4.3.3. Komparasi Standar Durasi Overhaul dan MTBF

Berdasarkan standar *schedule overhaul* diperoleh durasi standard *overhaul* (lampiran 5) equipment sebagai berikut :

- a. *EH Oil Pump* : 6,88 hari
- b. *Condensate Extraction Pump* : 16,5 hari
- c. *Vacuum Pump* : 23,06 hari
- d. *Boiler Feed Pump* : 31,75 hari
- e. *Coal Feeder* : 6 hari
- f. *Mill* : 7 hari (minor overhaul)

Dengan tujuan supaya memperkecil risiko *system down* pada saat *overhaul equipment* terkait belum selesai, maka dipilih acuan MTBF yang paling pendek dalam 1 *system*, sehingga disimpulkan sebagai berikut :

- a. *EH Oil Pump* : MTBF terpendek 62,10 hari, lebih besar dari durasi *overhaul* 6,88 hari, sehingga dapat dilakukan overhaul pada saat plant kondisi operasi
- b. *Condensate Extraction Pump* : MTBF terpendek 122,81 hari, lebih besar dari durasi *overhaul* hari 16,5 hari , sehingga dapat dilakukan *overhaul* pada saat plant kondisi operasi
- c. *Vacuum Pump* : MTBF terpendek 164,53 hari, lebih besar dari durasi *overhaul* hari 23,06 hari , sehingga dapat dilakukan *overhaul* pada saat *plant* kondisi operasi
- d. *Boiler Feed Pump* : MTBF terpendek 225,83 hari, lebih besar dari durasi *overhaul* hari 31,75 hari , sehingga dapat dilakukan overhaul pada saat *plant* kondisi operasi
- e. *Coal Feeder* : MTBF terpendek 10,73 hari, lebih besar dari durasi *overhaul* hari 6 hari , sehingga dapat dilakukan *overhaul* pada saat *plant* kondisi operasi
- f. *Mill* : MTBF terpendek 10,73 hari, lebih besar dari durasi *overhaul* hari 7 hari , sehingga dapat dilakukan *overhaul* pada saat *plant* kondisi operasi

4.4. Menentukan *Reliability Plant Baru*

Equipment dengan katagori risiko ekstrem, tinggi dan medium yang dapat dilakukan *overhaul* pada kondisi *plant* beroperasi (21 *equipment*) dieleminasi dari RBD sehingga dapat disusun RBD update yang lebih sederhana, yaitu dari semula 51 *equipment* menjadi tinggal 30 *equipment*. Detail perubahan RBD dan penyusunnya adalah sebagai berikut :

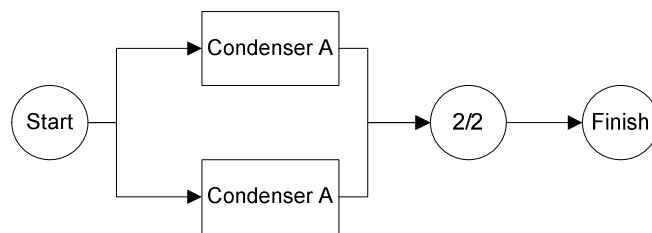
a. *Plant Control System* dieleminasi karena 2 *equipment* penyusunnya yaitu EH *Oil Pump A* dan B dapat dilakukan *overhaul* pada saat kondisi *plant* operasi sehingga dikeluarkan dari RBD

b. *Cooling water system*

System ini tidak ada perubahan, karena tidak mempunyai *equipment* yang *redundant*. *System* ini mempunyai 6 *equipment*, yaitu : *travelling screen A* dan B, CWP A dan B, *debris filter A* dan B .

c. *Condensate System*

System ini mempunyai *equipment* yang dapat dilakukan *overhaul* pada saat kondisi *plant* operasi, yaitu *Condensate Extraction Pump A* dan B sehingga dapat dieliminasi dari RBD. *Equipment* yang tersisa tinggal 2, yaitu *condenser A* dan B, sehingga RBD berubah menjadi sebagai berikut :



Gambar 4. 23. RBD *Condensate System* Revisi 2

d. *Feed Water System*

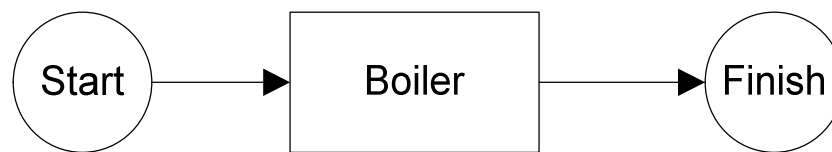
System ini dieleminasi karena 3 *equipment* penyusunnya yaitu *Boiler Feed Pump A*, B dan C dapat dilakukan *overhaul* pada saat kondisi *plant* operasi sehingga dikeluarkan dari RBD

e. *Flue Gas System*

System ini tidak ada perubahan, karena tidak mempunyai *equipment* yang *redundant*. *System* ini mempunyai 8 *equipment*, yaitu : FD Fan A dan B, PA Fan A dan B, *Air Pre Heater* A dan B, ID Fan A dan B.

f. *Boiler Furnace System*

System ini mempunyai *equipment* dapat dilakukan *overhaul* pada saat kondisi *plant* operasi, yaitu *Coal Feeder* A-F dan *Mill* A-F. *Equipment* yang tersisa tinggal 1, yaitu *boiler*, sehingga RBD berubah menjadi sebagai berikut



Gambar 4. 24 RBD *Boiler Furnace System* Revisi 2

g. *Turbine System*

System ini tidak ada perubahan, karena tidak mempunyai *equipment* yang *redundant*. *System* ini mempunyai 9 *equipment*, yaitu : GV 1-4, HP Turbine, RSV 1 dan 2, *IP Turbine* dan *LP Turbine*.

h. *Generator System*

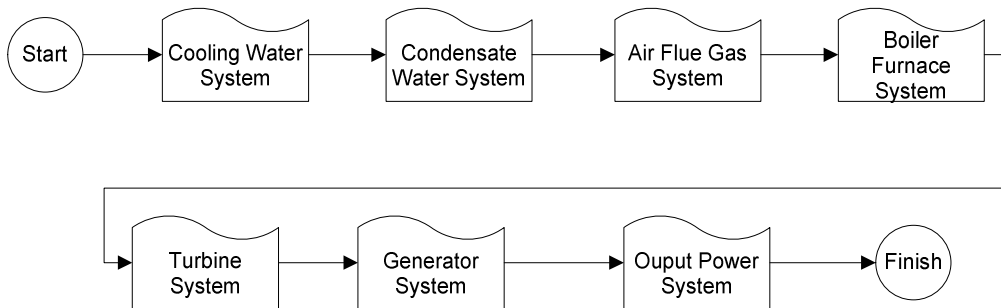
System ini tidak ada perubahan, karena tidak mempunyai *equipment* yang *redundant*. *System* ini mempunyai 2 *equipment*, yaitu : *Generator Excitation* dan *Generator*

i. *Output Power System*

System ini tidak ada perubahan, karena tidak mempunyai *equipment* yang *redundant*. System ini mempunyai 2 *equipment*, yaitu : *Main Transformer* dan *Auxiliary Trafo*

j. *Plant System*

RBD plant mengalami perubahan dengan *terelemenasinya Plant Control System* dan *Feed Water System*, sehingga perubahan RBD adalah sebagai berikut



Gambar 4.25. RBD *Plant System* Revisi 2

Distribusi dan parameter persamaan setiap *system* dapat dilihat sebagai berikut :

Tabel 4.9. Distribusi dan Parameter Persamaan

No.	System	Distribusi	Parameter
1	Boiler Furnace System	2P weibull	Beta (β) : 0,9306 Eta(η) : 42185,334
2	Generator System	3P weibull	Beta (β) : 0,9476 Eta (η) : 32902,6740 Gamma (γ) : 65,8

Tabel 4.9. Distribusi dan Parameter Persamaan (Lanjutan)

No.	System	Distribusi	Parameter
3	Turbine System	3P weibull	Beta (β) : 1,0598 Eta (η) : 6657,3142 Gamma (γ) : - 39,8695
4	Cooling Water System	3P weibull	Beta (β) : 1,0086 Eta (η) : 1888,6347 Gamma (γ) : - 17,6365
5	Output Power System	3P weibull	Beta (β) : 1,1272 Eta (η): 9396,5771 Gamma (γ) : - 164,021
6	Flue gas System	2P weibull	Beta (β) : 1,04 Eta (η) : 1676,8796
7	Condensate System	3P weibull	Beta (β) : 0,987032 Eta (η): 5293,24046 Gamma (γ) : - 46,8660
8	Plant	3P weibull	Beta (β) : 0,9755 Eta (η) : 602,0508 Gamma (γ) : 7,5942

Persamaan *reliability system* dan plant dapat dituliskan sebagai berikut :

a. *Boiler Furnace System* :

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{42185,334}\right)^{0,9306}} \quad (59)$$

b. *Generator System*

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-65,8}{32902,674}\right)^{0,9476}} \quad (60)$$

c. *Turbine System*

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t+39,8695}{6657,3142}\right)^{1,0598}} \quad (61)$$

d. *Cooling Water System*

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t+17,6365}{1888,6347}\right)^{1,0086}} \quad (62)$$

e. *Output Power System*

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-164,02}{9396,5771}\right)^{1,1272}} \quad (63)$$

f. *Flue Gas System*

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{1676,8796}\right)^{1,04}} \quad (64)$$

g. *Condensate System*

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t+46,8660}{5293,24}\right)^{0,987}} \quad (65)$$

h. *Plant*

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-7,5942}{602,0508}\right)^{0,9755}} \quad (66)$$

4.5. Penyusunan *Human Error Probability Model*

Metode Success Likelihood Index Methode (SLIM) merupakan teknik *Human Error Analysis* (HRA) untuk dengan menggunakan *expert judgement* untuk mendapatkan dan mengukur *Performance Shaping Factor (PSF)*. *Expert judgement* adalah pertimbangan atau pendapat ahli atau orang yang berpengalaman

Kriteria *expert* yang akan dilibatkan dalam penelitian ini adalah :

1. Berkerja di bidang pembangkit tenaga listrik jenis uap minimal 5 tahun
2. Berpengalaman terlibat aktif dalam kegiatan inspeksi atau overhaul

Langkah dalam metode ini adalah :

1. Pengumpulan dan seleksi faktor yang mempengaruhi *Human Error* dalam kegiatan overhaul. Faktor yang terpilih disebut sebagai PSF. Dari hasil diskusi dengan *expert* diperoleh 17 faktor yang berpeluang menjadi PSF. Kemudian dilakukan seleksi lebih lanjut, dengan melakukan kuisisioner kepada *expert*. Faktor dimana semua *expert* setuju bahwa hal itu akan berpengaruh terhadap *human error* akan dijadikan PSF. Apabila terdapat faktor yang dimana salah satu atau lebih dari *expert* tidak memberi persetujuan jika hal itu berpengaruh terhadap *human error* , akan digugurkan.

Tabel 4.10. Seleksi *Performance Shaping Factor*

No.	Faktor Human Error	Expert 1	Expert 2	Expert 3	Expert 4	Expert 5	Expert 6	Expert 7	Expert 8	Expert 8	Hasil
		Manajer Operasi	Engineer Turbine	Engineer Listrik	Planner Pemeliharaan	Engineer Instrumen-tasi	Engineer Boiler	Spv Mesin	Manajer Proyek	Engineer Turbin-e	
		(13 tahun)	(10 tahun)	(8 tahun)	(5 tahun)	(10 tahun)	(10 tahun)	10 (tahun)	10 (tahun)	10 (tahun)	
1	Sertifikasi / training bagi teknisi	M	M	M	M	M	M	TM	M	M	tidak lolos
2	Lingkungan atau situasi kerja	M	M	M	M	TM	M	M	M	M	tidak lolos
3	Lama jam kerja per shift	TM	M	M	M	M	M	M	TM	M	tidak lolos
4	Diberlakukannya 2 shift panjang	TM	M	TM	M	TM	M	M	TM	TM	tidak lolos
5	Kelengkapan tool	M	M	M	M	M	M	M	M	M	lolos
6	Kelengkapan penyediaan material	M	M	M	M	M	M	M	M	TM	tidak lolos
7	Kecukupan prosedur kerja	M	M	M	M	M	M	M	M	M	lolos
8	Kesulitan / kompleksitas detail pekerjaan	M	M	M	M	TM	M	M	M	M	tidak lolos
9	Kecukupan pengetahuan personil terhadap standar setting	M	M	M	M	M	M	M	M	M	lolos

Tabel 4.10. Seleksi *Performance Shaping Factor* (Lanjutan)

No.	Faktor Human Error	Expert 1	Expert 2	Expert 3	Expert 4	Expert 5	Expert 6	Expert 7	Expert 8	Expert 8	Hasil
		Manajer Operasi	Engineer Turbine	Engineer Listrik	Planner Pemeliharaan	Engineer Instrumentasi	Engineer Boiler	Spv Mesin	Manajer Proyek	Engineer Turbine	
		(13 tahun)	(10 tahun)	(8 tahun)	(5 tahun)	(10 tahun)	(10 tahun)	10 (tahun)	10 (tahun)	10 (tahun)	
10	Tekanan kerja karena waktu yang terbatas	TM	M	M	M	M	M	M	M	M	tidak lolos
11	Kondisi kecapakan tubuh	M	M	M	M	M	M	M	M	M	lolos
12	Pengalaman kerja	M	M	M	M	M	M	M	M	M	lolos
13	Tingkat pendidikan formal pekerja	TM	TM	TM	TM	M	M	TM	M	TM	tidak lolos
14	Kecukupan oksigen dilokasi kerja	M	TM	M	M	M	M	M	M	M	tidak lolos
15	Vibrasi di tempat kerja	TM	TM	M	M	TM	M	M	M	M	tidak lolos
16	Panas di tempat kerja	TM	M	M	M	TM	M	M	M	M	tidak lolos
17	Kepuasan terhadap upah kerja	M	M	M	M	M	M	M	M	M	lolos

Keterangan :

M : Mempengaruhi

TM : Tidak Mempengaruhi

Dari 17 faktor tersebut, yang lolos sebagai PSF adalah :

1. Kelengkapan tool
2. Kecukupan prosedur kerja
3. Kecukupan pengetahuan personil terhadap standar setting

4. Kondisi kecapakan tubuh
 5. Pengalaman kerja
 6. Kepuasan terhadap upah kerja
2. Dilakukan pembobotan dan normalisasi setiap PSF terhadap setiap task yang dilakukan dalam overhaul. Terdapat 22 macam *task* yang dominan di dalam kegiatan *overhaul*. Setiap PSF dinilai tingkat urgensinya terhadap setiap task. Nilai total masing masing PSF dijumlahkan , kemudian dinormalisasi, sehingga pada akhirnya diperoleh jumlah nilai normalisasi semua PSF adalah 1.

Tabel. 4.11. Pembobotan Dan Normalisasi PSF

No.	Aktivitas Inspeksi	Performance Shaping Factor					
		Kelengkapan tool	Kecukupan prosedur kerja	Kecukupan pengetahuan personil terhadap standar setting	Kondisi kecapakan tubuh	Pengalaman kerja	Kepuasan terhadap upah kerja
		10 : aktivitas sangat perlu tool lengkap 0 : aktivitas sama sekali tidak perlu tool	10 : aktivitas sangat perlu prosedur kerja komplit dan detail 0 : aktivitas sama sekali tidak perlu prosedur kerja	10 : aktivitas sangat menuntut pengetahuan terhadap standar setting 0 : aktivitas sama sekali tidak perlu pengetahuan standar setting	10 : aktivitas sangat menyebabkan kecapakan pada tubuh 0 : aktivitas sama sekali tidak menyebabkan kecapakan pada tubuh	10 : aktivitas tersebut, sangat perlu pengalaman kerja yang memadai 0 : tidak diperlukan pengalaman kerja yang khusus	10 : aktivitas sangat pantas untuk upah tinggi 0 : aktivitas tidak memerlukan upah dengan kriteria tertentu
1	Persiapan alat kerja	7,3333	7	5,8333	5,1667	6	5,3333
2	Pembongkaran pompa/fan	8,8333	9,1667	8	7,5	8,3333	7
3	Pengambilan clearance awal pompa/fan	8,3333	8,6667	8,5	6,8333	8,8333	7,3333
4	Resetting kembali clearance pompa/fan	8,5	8,6667	8,8333	6,5	8,8333	7,6667
5	Pemasangan kembali pompa/fan	8,8333	9,1667	8,3333	7,8333	8,1667	7,1667
6	Realignment pompa/fan	8,6667	7,6667	8,5	8,5	8,5	7,5
7	Pembongkaran turbine/generator	9,6667	10	9,3333	8,8333	9	9

Tabel. 4.11. Pembobotan Dan Normalisasi PSF (Lanjutan)

No.	Aktivitas Inspeksi	Performance Shaping Factor					
		Kelengkapan tool	Kecukupan prosedur kerja	Kecukupan pengetahuan personil terhadap standar setting	Kondisi kecapekan tubuh	Pengalaman kerja	Kepuasan terhadap upah kerja
		10 : aktivitas sangat perlu tool lengkap	10 : aktivitas sangat perlu prosedur kerja komplit dan detail	10 : aktivitas sangat menuntut pengetahuan terhadap standar setting	10 : aktivitas sangat menyebabkan kecapekan pada tubuh	10 : aktivitas tersebut, sangat perlu pengalaman kerja yang memadai	10 : aktivitas sangat pantas untuk upah tinggi
0 : aktivitas sama sekali tidak perlu tool	0 : aktivitas sama sekali tidak perlu prosedur kerja	0 : aktivitas sama sekali tidak perlu pengetahuan standar setting	0 : aktivitas sama sekali tidak menyebabkan kecapekan pada tubuh	0 : tidak diperlukan pengalaman kerja yang khusus	0 : aktivitas tidak memerlukan upah dengan kriteria tertentu		
8	Pengambilan clearance awal turbine/generator	9,1667	9,6667	9,3333	10,5	9	9,5
9	Resetting kembali clearance turbine/generator	9,3333	9,6667	9,6667	9,1667	9,1667	9,6667
10	Pemasangan kembali turbine/generator	9,6667	10	9,16666667	9	9,16666667	9
11	Realignment turbine/generator	9,1667	9,3333	9,1667	8,6667	9,1667	9,3333
12	Pemasangan kembali turbine/generator	9,6667	10	8,8333	8,6667	9,1667	9
13	Inspeksi trafo	8,5	9,1667	8,3333	7,5	8	8,3333
14	Repair valve	8	8,6667	7,5	6,8333	7,6667	7,8333
15	Pengelasan line pipa	7,1667	9	7	6,6667	7,8333	8,3333
16	Pembongkaran motor	7	9	6,8333	6,1667	7,3333	7,5
17	Pengambilan clearance awal motor	7,3333	8,5	7,1667	6	7,8333	7,6667
18	Resetting kembali clearance motor	7,5	8,6667	7,5	6	7,8333	7,8333

Tabel. 4.11. Pembobotan Dan Normalisasi PSF (Lanjutan)

No.	Aktivitas Inspeksi	Performance Shaping Factor					
		Kelengkapan tool	Kecukupan prosedur kerja	Kecukupan pengetahuan personil terhadap standar setting	Kondisi kecapakan tubuh	Pengalaman kerja	Kepuasan terhadap upah kerja
		10 : aktivitas sangat perlu tool lengkap	10 : aktivitas sangat perlu prosedur kerja komplit dan detail	10 : aktivitas sangat menuntut pengetahuan terhadap standar setting	10 : aktivitas sangat menyebabkan kecapakan pada tubuh	10 : aktivitas tersebut, sangat perlu pengalaman kerja yang memadai	10 : aktivitas sangat pantas untuk upah tinggi
		0 : aktivitas sama sekali tidak perlu tool	0 : aktivitas sama sekali tidak perlu prosedur kerja	0 : aktivitas sama sekali tidak perlu pengetahuan standar setting	0 : aktivitas sama sekali tidak menyebabkan kecapakan pada tubuh	0 : tidak diperlukan pengalaman kerja yang khusus	0 : aktivitas tidak memerlukan upah dengan kriteria tertentu
19	Pemasangan kembali motor	7,6667	9	7,1667	6,5	7,5	7,5
20	Kalibrasi instrumen control	8,5	9,1667	7,5	5,8333	7,3333	7,8333
21	Pelaksanaan NDT mekanik	8,8333	8,6667	8,3333	7	8,5	8,3333
22	Pelaksanaan assessment elektrikal	8,8333	9,3333	8,3333	6,8333	8,6667	8,8333
	Total	186,5	188,1667	170	153,5	172,6667	168,5
	Bobot	8,47727273	8,96031746	8,0952381	7,30952381	8,22222222	8,02380952
	Bobot Normalisasi	0,17269407	0,18253438	0,16491148	0,14890537	0,16749833	0,16345638

Hasil di atas menunjukkan bahwa dari ke 6 PSF tersebut, pada bobot normalisasi tertinggi, yaitu PSF kecukupan prosedur kerja mempunyai pengaruh paling besar dalam menimbulkan *error*.

3. Dilakukan penilaian PSF

Langkah selanjunya adalah melakukan penilaian kondisi pekerja aktual dari masing masing task terhadap setiap PSF dengan hasil seperti di bawah ini :

Tabel. 4.12. Penilaian PSF

No.	Aktivitas Inspeksi	Kondisi Pekerja terhadap Kebutuhan Faktor Yang Berpengaruh					
		Kelengkapan tool	Kecukupan prosedur kerja	Kecukupan pengetahuan personil terhadap standar setting	Kondisi kecapekan tubuh	Pengalaman kerja	Kepuasan terhadap upah kerja
1	Persiapan alat kerja	50	62,5	65	67,5	65	75
2	Pembongkaran pompa/fan	57,5	65	80	72,5	65	77,5
3	Pengambilan clearance awal pompa/fan	47,5	65	65	80	70	77,5
4	Resetting kembali clearance pompa/fan	55	70	65	85	70	77,5
5	Pemasangan kembali pompa/fan	60	65	85	85	77,5	77,5
6	Realignment pompa/fan	65	70	82,5	82,5	82,5	77,5
7	Pembongkaran turbin/generator	57,5	62,5	62,5	70	80	77,5
8	Pengambilan clearance awal turbin/generator	62,5	72,5	57,5	72,5	75	77,5
9	Resetting kembali clearance turbin/generator	62,5	62,5	57,5	72,5	77,5	77,5
10	Pemasangan kembali turbin/generator	55	47,5	82,5	72,5	60	77,5
11	Realignment turbin/generator	57,5	55	85	80	67,5	77,5
12	Pemasangan kembali turbin/generator	52,5	57,5	72,5	72,5	65	77,5

Tabel. 4.12. Penilaian PSF (Lanjutan)

No.	Aktivitas Inspeksi	Kondisi Pekerja terhadap Kebutuhan Faktor Yang Berpengaruh					
		Kelengkapan tool	Kecukupan prosedur kerja	Kecukupan pengetahuan personil terhadap standar setting	Kondisi kecapekan tubuh	Pengalaman kerja	Kepuasan terhadap upah kerja
13	Inspeksi trafo	70	75	77,5	82,5	70	77,5
14	Repair valve	72,5	40	50	70	75	77,5
15	Pengelasan line pipa	40	32,5	70	75	72,5	77,5
16	Pembongkaran motor	57,5	55	77,5	72,5	80	75
17	Pengambilan clearance awal motor	65	65	70	75	82,5	77,5
18	Resetting kembali clearance motor	57,5	70	67,5	75	82,5	77,5
19	Pemasangan kembali motor	65	75	82,5	75	80	75
20	Kalibrasi instrumen control	67,5	77,5	77,5	66,25	78,75	76,25
21	Pelaksanaan NDT mekanik	57,5	77,5	75	76,25	81,25	76,25
22	Pelaksanaan assessment elektrikal	70	75	75	78,75	78,75	76,25

Kriteria penilaian adalah sebagai berikut :

PSF Kelengkapan Tool :

100 : tool sangat lengkap dalam jumlah yang cukup

50 : tool agak lengkap dan jumlah lumayan mencukupi

0 : tidak tersedia tool sama sekali

PSF Kecukupan Prosedur Kerja :

100 : prosedur sudah tersedia dengan lengkap dan detail

50 : prosedur ada namun belum lengkap dan belum detail

0 : prosedur belum tersedia

PSF Kecukupan pengetahuan personil terhadap standar setting :

- 100 : semua personil sudah memahami standar setting dalam aktivitas tersebut
- 50 : hanya separo dari personil yang mempunyai pengetahuan tentang standar setting dengan tingkat pemahaman hanya 50%
- 0 : personil sama sekali tidak mempunyai standar setting

PSF Kondisi kecapekan tubuh

- 100 : personil dalam kondisi segar setiap hari sebelum bekerja
- 50 : personil dalam kondisi cukup capek setiap hari sebelum bekerja
- 0 : aktivitas sama sekali tidak menyebabkan kecapekan pada tubuh

PSF Pengalaman Kerja

- 100 : personil sangat berpengalaman dalam aktivitas ini
- 50 : personil agak berpengalaman
- 0 : personil tidak berpengalaman

Kepuasan terhadap upah kerja

- 100 : personil yang melakukan aktivitas ini mendapatkan upah yang memuaskan
- 50 : personil yang melakukan ini mendapatkan upah yang pas pasan
- 0 : personil yang melakukan ini mendapatkan upah yang sama sekali tidak memuaskan

4. Penghitungan *Success Likelihood Index (SLI)* dan *Human Error Probability (HEP)*

Menggunakan rumus (44)

$$SLI = \sum_{i=1}^n \text{penilaian PSFi} \times \text{bobot normalisasi PSFi}$$

Untuk task 1 diperoleh :

$$SLI = 50 \times 0,17269 + 62,5 \times 0,1825 + 65 \times 0,1649 + 67,5 \times 0,1489 + 65 \times 0,1774 + 75 \times 0,1634$$

$$= 63,9601$$

Untuk menghitung HEP diperlukan minimal *probability* dari 2 *task*. *Probability* diperoleh dari data *history* pemeliharaan. Dalam hal ini yang *probability*nya diketahui adalah

Task 4 : Resetting kembali clearance pompa/fan, yaitu terjadi pada saat perbaikan CWP 1A pada 2015, 2016 dan 2017

$$\begin{aligned} \text{Probability task 4} &= \frac{\text{jumlah error}}{\text{jam per harix hari per minggu x minggu per tahun xtahun}} \\ &= \frac{3}{12 \times 7 \times 52 \times 6} \\ &= 0,000114 \text{ kejadian / jam} \end{aligned}$$

Task 11 : *Realignment turbine/generator*, yaitu terjadi pada 2016 dan 2017

$$\begin{aligned} \text{Probability task 11} &= \frac{\text{jumlah error}}{\text{jam per harix hari per minggu x minggu per tahun xtahun}} \\ &= \frac{2}{12 \times 7 \times 52 \times 6} \\ &= 0,000076 \text{ kejadian / jam} \end{aligned}$$

Ditentukan konstanta A (*task 4*) dan B (*task 11*) dengan cara :

$$\begin{aligned} \text{Konstanta A} &= \frac{0,000114}{0,000114+0,0000765} \times 100 \\ &= 60 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Konstanta B} &= \frac{0,0000765}{0,000114+0,0000765} \times 100 \\ &= 40 \end{aligned}$$

Dipergunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Log (HEP task 4)} = a.A + b$$

$$\text{Log (HEP task 11)} = a.B + b$$

Diperoleh persamaan sebagai berikut

$$\text{Log (0,000114)} = a.60 + b$$

$$\text{Log (0,000076)} = a. 40 + b$$

Dari substitusi diperoleh

$$a = 0,0088046$$

$$b = -4,469586$$

Sehingga diperoleh rumus

$$\text{Log (HEP)} = 0,0088048 \text{ SLI } -4,469586$$

Dari penghitungan lanjutan diperoleh rekap sebagai berikut :

Tabel 4.13. Rekap SLI dan HEP

Task	SLI	log (HEP)	HEP	1-HEP
1	63,96	-3,906446	0,0001240	0,9998760
2	69,34	-3,859092	0,0001383	0,9998617
3	67,09	-3,878870	0,0001322	0,9998678
4	70,04	-3,852875	0,0001403	0,9998597
5	74,55	-3,813208	0,0001537	0,9998463
6	76,38	-3,797104	0,0001595	0,9998405
7	68,14	-3,869675	0,0001350	0,9998650
8	69,54	-3,857357	0,0001389	0,9998611
9	68,13	-3,869742	0,0001350	0,9998650
10	65,29	-3,894761	0,0001274	0,9998726
11	69,87	-3,854383	0,0001398	0,9998602
12	65,87	-3,889637	0,0001289	0,9998711
13	75,24	-3,807160	0,0001559	0,9998441
14	63,72	-3,908552	0,0001234	0,9998766
15	60,36	-3,938114	0,0001153	0,9998847
16	69,20	-3,860270	0,0001380	0,9998620
17	72,29	-3,833122	0,0001469	0,9998531
18	71,49	-3,840120	0,0001445	0,9998555
19	75,35	-3,806186	0,0001562	0,9998438
20	74,10	-3,817143	0,0001524	0,9998476
21	73,87	-3,819180	0,0001516	0,9998484
22	75,53	-3,804601	0,0001568	0,9998432
	Σ SLI 1539,35		Σ HEP 0,0030942	$P=\Pi(1-$ HEP) 0,9969

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa semakin tinggi nilai SLI maka semakin tinggi nilai HEP nya. Dari perhitungan di atas dapat diketahui bahwa *task 6 realignment* pompa/fan berpeluang untuk terjadi *human error* tertinggi dengan nilai HEP 0,0001595. Dari tabel di atas dapat diketahui bahwa reliability human error gabungang adalah 0,9969

4.6.Penyusunan Sistem Kegagalan Gabungan

Berdasarkan Hameed (2015), sistem kegagalan gabungan dapat disusun dengan memperlakukan hubungan seri antara sistem keandalan *plant* dengan persamaan *human error probability*, sehingga dapat disimpulkan bahwa sistem reliability gabungan adalah sebagai berikut :

$$R_{comb}(t) = e^{-\left(\frac{t-7,5942}{602,0508}\right)^{0,9755}} \cdot \prod_{k=1}^n (1 - HEP_k) \quad \dots(67)$$

Selanjutnya dapat disusun sistem kegagalan gabungan, yaitu :

$$F_{comb}(t) = 1 - \left(e^{-\left(\frac{t-7,5942}{602,0508}\right)^{0,9755}} \cdot \prod_{k=1}^n (1 - HEP_k) \right) \quad \dots(68)$$

$$F_{comb}(t) = 1 - \left(e^{-\left(\frac{t-7,5942}{602,0508}\right)^{0,9755}} \cdot \prod_{k=1}^n (1 - HEP_k) \right) \quad \dots(69)$$

$$F_{comb}(t) = 1 - \left(0,9969 \cdot e^{-\left(\frac{t-7,5942}{602,0508}\right)^{0,9755}} \right) \quad \dots(70)$$

4.7. Penyusunan *Economic Failures Consequences*

4.7.1. Penghitungan *Economic Consequences of Asset Lost (ECAL)*

Resiko kehilangan *asset* oleh akibat terjadinya suatu *failure* dapat diperoleh dengan menyusun skenario skenario *failure* pada setiap *system* PLTU. Shrivastava (2014), menyusun skenario *hazard* dalam sebuah *system power plant* menjadi 33 skenario dalam 6 area (*system*). *System* PLTU dalam penelitian tersebut identik dengan obyek dalam penelitian ini sehingga skenario *hazard* akan dipergunakan dalam penelitian ini. Tidak semua *system* mempunyai risiko kehilangan *asset* apabila terjadi sebuah *failure*. Berdasarkan rumus nomor (40) diperoleh bahwa ECAL dipilih yang terbesar, maka untuk meyerhanakan, setiap sistem yang mempunyai potensi resiko ECAL hanya dipilih skenario yang terbesar. Berdasarkan kriteria dalam Shrivastava (2014), maka dipilih skenario katagori risk class C atau D.

- *Plant Control System* : tidak terdapat skenario berpotensi menimbulkan ECAL
- *Cooling Water System* : tidak terdapat skenario berpotensi menimbulkan ECAL
- *Condensate System* : tidak terdapat skenario berpotensi menimbulkan ECAL
- *Feed Water System* : tidak terdapat skenario berpotensi menimbulkan ECAL
- *Flue Gas System* : tidak terdapat skenario berpotensi menimbulkan ECAL
- *Boiler Furnace System* : terdapat potensi ECAL, yaitu ledakan dalam *boiler* karena ketidaksesuain pembakaran. Ledakan ini dipicu oleh tertimbunnya sisa bahan bakar yang tidak terbakar pada saat operasi sebelumnya pada ruang *furnace*. Secara normal kejadian ini *probability* 0, karena sudah terdapat prosedur operasi untuk melakukan pembilasan pasca *shutdown* dan sebelum *firing boiler* kembali. Namun *probabability* mungkin naik apabila terdapat fungsi abnormal pada proses pembilasan. PLTU obyek penelitian ini tidak mempunyai *history* kejadian, namun dilakukan pendekatan dengan PLTU sejenis, yang mempunyai *failure rate* (λ) : $1,09E-5$

Dengan pendekatan constant failure rate, diperoleh formula reliability sebagai berikut :

$$R(t) = e^{-0,0000109t} \quad (71)$$

System ini sudah sukses menjalankan 52752 jam operasi, sehingga perhitungan reliability untuk skenario ini menggunakan persamaan (20), *conditional reliability pada* sehingga dapat ditulis sebagai berikut :

$$T = 52752 \text{ h}$$

$$R(T) = e^{-0,0000109T} \quad (72)$$

$$R(T) = 0,5627$$

Persamaan *conditional reliability* pada mission time tambahan t jam operasi setelah sebelumnya menjalankan T : 52752 jam operasi adalah :

$$R(t|T) = \frac{R(52752 + t)}{R(52752)} \quad (73)$$

$$R(t|T) = \frac{1}{0,5627} e^{-0,0000109(52752+t)} \quad (74)$$

Sehingga dapat dituliskan :

PDOP = F (t/T) dimana

$$F(t|T) = 1 - \frac{1}{0,5627} e^{-0,0000109(52752+t)} \quad (75)$$

Dimana berdasarkan lampiran 8, nilai asset untuk boiler adalah sebesar AV'
 AV' : Rp. 740.656.295.433, sedangkan biaya perbaikan untuk pemulihan boiler system adalah 1% dari nilai asset, dengan detail :

Sehingga persamaan ECAL untuk boiler furnace system adalah

$$ECAL_{boiler}(t) = 7.406.562.954 \times \left(1 - \frac{1}{0,5627} e^{-0,0000109(52752+t)}\right) \quad (76)$$

- *Turbine System : Breakdown* pada turbin karena gagalnya sistem pelumas. *Failure* diakibatkan oleh gagalnya sistem pelumasan, sehingga pada saat *turbine* dalam kondisi operasi, tidak terdapat pelumas yang cukup sehingga terjadi gesekan antara rotor *turbine* dan permukaan *bearing*, sehingga pada suatu saat *turbine* akan berhenti berputar dengan cepat karena gesekan tersebut, sementara rotor dalam kondisi temperature tinggi. Pada skenario terburuk adalah, terjadi defleksi pada *rotor turbine* sehingga terjadi gesekan antara *rotor blade* dan *stator* sehingga terjadi kerusakan. Obyek penelitian ini tidak mempunyai history *failure mode* ini sehingga diambil pendekatan dengan mempergunakan penelitian dari Rusin, Wojaczek (2012), dimana dilakukan penelitian pada 4 tipe *mode failure* pada *turbine*. Skenario di atas sesuai dengan tipe mode *failure* no. 1 dalam penelitian di atas yang mempunyai parameter distribusi :

$\eta = 296$, $\beta = 2,9$, sehingga dapat diperoleh persamaan *reliability* adalah sebagai berikut :

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{296}\right)^{2,9}} \quad (77)$$

dengan t satuan *month*

System ini sudah sukses menjalankan 52752 jam atau 73,26 bulan operasi, sehingga perhitungan *reliability* untuk skenario ini menggunakan persamaan (20) *conditional reliability* sehingga dapat ditulis sebagai berikut :

$$T = 73,26 \text{ h}$$

$$R(t|T) = \frac{R(73,26 + t)}{R(73,26)}$$

Dengan $R(73,26) = 0,9827$

Maka diperoleh pers

$$R(t|73,26) = \frac{1}{0,9827} e^{-\left(\frac{73,26+t}{296}\right)^{2,9}}$$

Dimana t dalam bulan

Sehingga dapat dituliskan :

PDOP = F (t/T) dimana

$$F(t|73,26) = 1 - \frac{1}{0,9827} e^{-\left(\frac{73,26+t}{296}\right)^{2,9}} \quad (78)$$

Dimana berdasarkan lampiran 8, nilai asset untuk turbin adalah :

AV : Rp. 331.470.577.932,-

Sehingga persamaan ECAL untuk turbine system adalah

$$ECAL_{turbin} = 331470577932 \times \left(1 - \frac{1}{0,9827} e^{-\left(\frac{73,26+t}{296}\right)^{2,9}}\right) \quad (79)$$

Dimana t dalam *month*

- *Output Power System* : kebakaran *Transformer*. *Transformer* mempunyai *oil* yang berfungsi sebagai pendingin. Secara gradual, muncul combustible gas pada oil tersebut, sehingga pada ambang batas tertentu, potensi ledakan dapat terjadi. Obyek penelitian ini tidak mempunyai *history failure mode* ini sehingga diambil pendekatan dengan mempergunakan penelitian dari Cigre (2013), yang melakukan penelitian transformer yang mengalami terbakar pada 6 negara pengguna. *Failure rate* tertinggi didapati adalah negara Jerman yaitu 0,0006 per tahun dan terendah adalah Jepang dengan 0,0000012 per tahun. Sebagai pertimbangan keamanan dipergunakan *failure rate* (λ) 0,0006 per tahun atau 6,86E-8 per hour sehingga dapat diperoleh persamaan *reliability* adalah sebagai berikut :

$$R(t) = e^{-0,0000000686t} \quad (80)$$

System ini sudah sukses menjalankan 52752 jam operasi, sehingga perhitungan reliability untuk skenario ini menggunakan persamaan (80) *conditional reliability*, sehingga dapat ditulis sebagai berikut :

$$T = 52752 \text{ h}$$

$$R(t|T) = \frac{R(52752 + t)}{R(52752)}$$

Dengan $R(52752) = 0,9964$

Maka diperoleh persamaan *conditional reliability*

$$R(t|52752) = \frac{1}{0,9964} e^{-0,0000000686(t+52752)} \quad (81)$$

Dimana t dalam bulan

Sehingga dapat dituliskan :

PDOP = F (t/T) dimana

$$F(t|52752) = 1 - \left(\frac{1}{0,9964} e^{-0,0000000686(t+52752)} \right) \quad (82)$$

Dimana berdasarkan lampiran 8, nilai asset untuk *main transformer* dan unit *auxiliary transformer* (keduanya akan terdampak akibat terbakar walaupun sumber api berasal dari salah satu karena berdampingan) adalah :

AV1 (*main transformer*) : Rp. 49.861.828.529,-

AV2 (*unit auxiliary transformer*) : Rp. 31.984.642.635,-

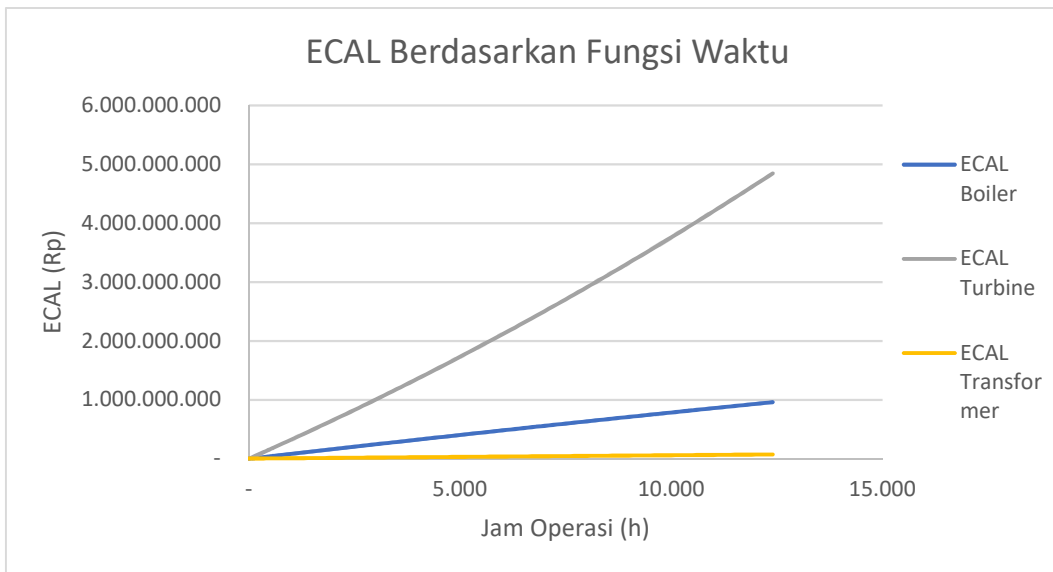
Sehingga *total asset* terdampak adalah (Avt) :

Rp. 81.846.471.164,-

Sehingga persamaan ECAL untuk *output power system* adalah

$$ECAL_{transformer}(t) = 81846471164 x(1 - (\frac{1}{0,9964} e^{-0,0000000686(t+52752)})) \quad (83)$$

Ketiga system tersebut mempunyai persamaan ECAL yang berbeda, dan ditunjukkan pada grafik di bawah ini :



Gambar. 4.26. Grafik ECAL Merupakan Fungsi Waktu

ECAL tertinggi adalah ECALturbine .Dengan t dalam bulan, atau dengan perhitungan 1 bulan adalah 30 hari dan 1 hari adalah 24 jam, maka ECAL turbine mempunyai persamaan

$$ECAL_{turbine}(t) = 331470577932x(1 - \frac{1}{0,9827} e^{-(0,2475+\frac{t}{213120})^{2,9}}) \quad (84)$$

Dengan t dalam jam

4.7.2. Menghitung *Economic Consequences of Human Health Loss (ECHHL)*

Skenario terburuk diperhitungkan pada setiap *failure* yang berpotensi terhadap kesehatan atau keselamatan terhadap personil. Shrivastava (2014), menyusun skenario *hazard* dalam sebuah *system power plant* menjadi 33 skenario dalam 6 area (system). Tidak semua system mempunyai failure yang berisiko terhadap kesehatan atau keselamatan personil. Berdasarkan kriteria dalam Shrivastava (2014), maka dipilih skenario katagori risk class C atau D, sehingga mode failure ECHHL adalah sama dengan yang dihitung dalam ECAL. Berdasarkan rumus ECHHL no (34) , dapat ditentukan :

$$PDOP = F(t/T) \text{ ECHHL} = F(t/T) \text{ ECAL}$$

EZ = area terdampak

PD = jumlah personil dalam area terdampak

CF = cost of injury.

Perhitungan *cost of injury* dilakukan berdasarkan PP RI No. 7 (2007).

Tabel di bawah menunjukkan data detail penghitungan :

Tabel 4.14. *Cost of Injury* (PP RI No. 7 BPJS, 2007)

No.	Area	Failure Mode	Jumlah Personil Dalam Area	Dampak Keselamatan pada Skenario Terburuk	Macam Biaya Kecelakaan	Cost of Injury per orang	Cost of Injury Total
1	Boiler Furnace System	ledakan dalam boiler karena ketidaksesuaian pembakaran	6	Luka bakar yang menyebabkan kematian	1. Santunan kematian Rp. 10 juta per orang 2. Santunan berkala sebesar Rp. 200 ribu selama 24 bulan 3. Biaya pemakaman sebesar Rp. 2 juta 4. Santunan sebesar 60% x 80 bulan upah 5. Biaya pengobatan dan perawatan maksimal Rp. 12 juta 6. Biaya rehabilitasi medik maksimal Rp. 2 juta rupiah 7. Jasa angkutan tenaga kerja dari kejadian perkara ke rumah sakit, maksimal Rp. 1,5 juta	296.300.000	1.777.800.000

Tabel 4.14. *Cost of Injury* (PP RI No. 7 BPJS, 2007) Lanjutan

No.	Area	Failure Mode	Jumlah Personil Dalam Area	Dampak Keselamatan pada Skenario Terburuk	Macam Biaya Kecelakaan	Cost of Injury per orang	Cost of Injury Total
2	Turbine System	Breakdown pada turbin karena gagalnya sistem pelumas	6	Benturan akibat benda yang menyebabkan cacat tetap dan tidak mampu bekerja	1. Santunan cacat total untuk selama lamanya sebesar 70% x 80 bulan upah 2. Santunan berkala sebesar Rp. 200 ribu selama 24 bulan 3. Biaya pengobatan dan perawatan maksimal Rp. 12 juta 4. Biaya rehabilitasi medik maksimal Rp. 2 juta rupiah 5. Jasa angkutan tenaga kerja dari kejadian perkara ke rumah sakit, maksimal Rp. 1,5 juta	330.300.000	1.981.800.000
3	Output Power System	kebakaran Transformer	2	Luka bakar yang menyebabkan kematian	1. Santunan cacat total untuk selama lamanya sebesar 70% x 80 bulan upah 2. Santunan berkala sebesar Rp. 200 ribu selama 24 bulan 3. Biaya pengobatan dan perawatan maksimal Rp. 12 juta 4. Biaya rehabilitasi medik maksimal Rp. 2 juta rupiah 5. Jasa angkutan tenaga kerja dari kejadian perkara ke rumah sakit, maksimal Rp. 1,5 juta	296.300.000	592.600.000

Dari tabel di atas, diperoleh persamaan ECHHL sebagai berikut :

a. *Boiler Furnace System*

Persamaan ECHHL pada system ini dapat ditulis sebagai berikut :

$$ECHHL_{boiler}(t) = \left(1 - \frac{1}{0,5627} e^{-0,0000109(52752+t)}\right) \times 1 \times 6 \times 296300000 \quad (85)$$

Atau

$$ECHHL_{boiler}(t) = \left(1 - \frac{1}{0,5627} e^{-0,0000109(52752+t)}\right) \times 1777800000 \quad (86)$$

b. *Turbine System*

Persamaan ECHHL pada system ini dapat ditulis sebagai berikut :

$$ECHHL_{turbine}(t) = \left(1 - \frac{1}{0,9827} e^{-\left(0,2475 + \frac{t}{213120}\right)^{2,9}}\right) \times 16 \times 330300000 \quad (87)$$

Atau

$$ECHHL_{turbine}(t) = \left(1 - \frac{1}{0,9827} e^{-\left(0,2475 + \frac{t}{213120}\right)^{2,9}}\right) \times 1981800000 \quad (88)$$

Dengan t dalam jam

c. *Output Power System*

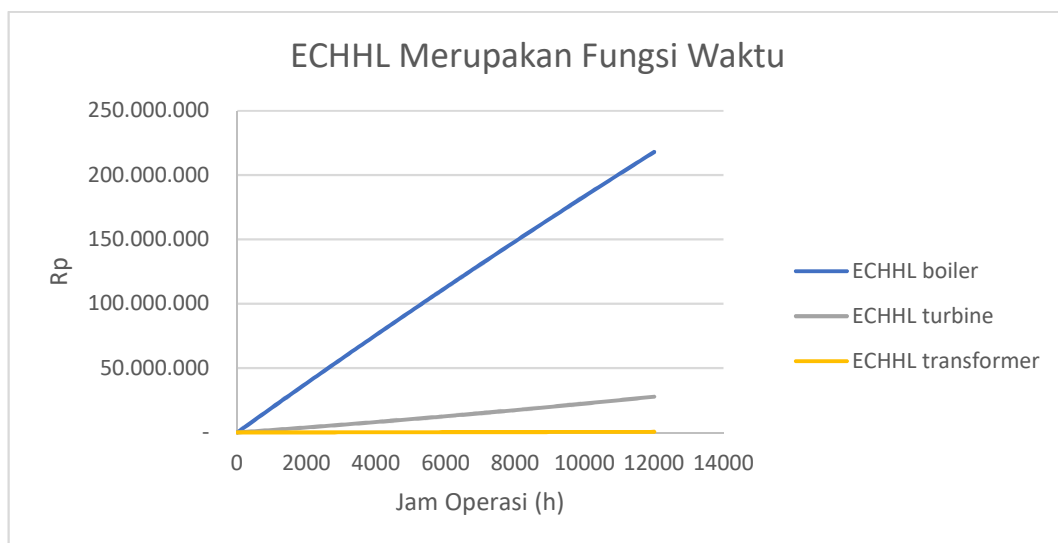
Persamaan ECHHL pada system ini dapat ditulis sebagai berikut :

$$ECHHL_{transformer}(t) = \left(1 - \left(\frac{1}{0,9964} e^{-0,0000000686(t+52752)}\right)\right) 0000 \quad (89)$$

Atau

$$ECHHL_{transformer}(t) = \left(1 - \left(\frac{1}{0,9964} e^{-0,0000000686(t+52752)}\right)\right) 592600000 \quad (90)$$

Berdasarkan ketiga persamaan ECHHL system tersebut dapat digambarkan ECHHL berdasarkan waktu seperti berikut ini :

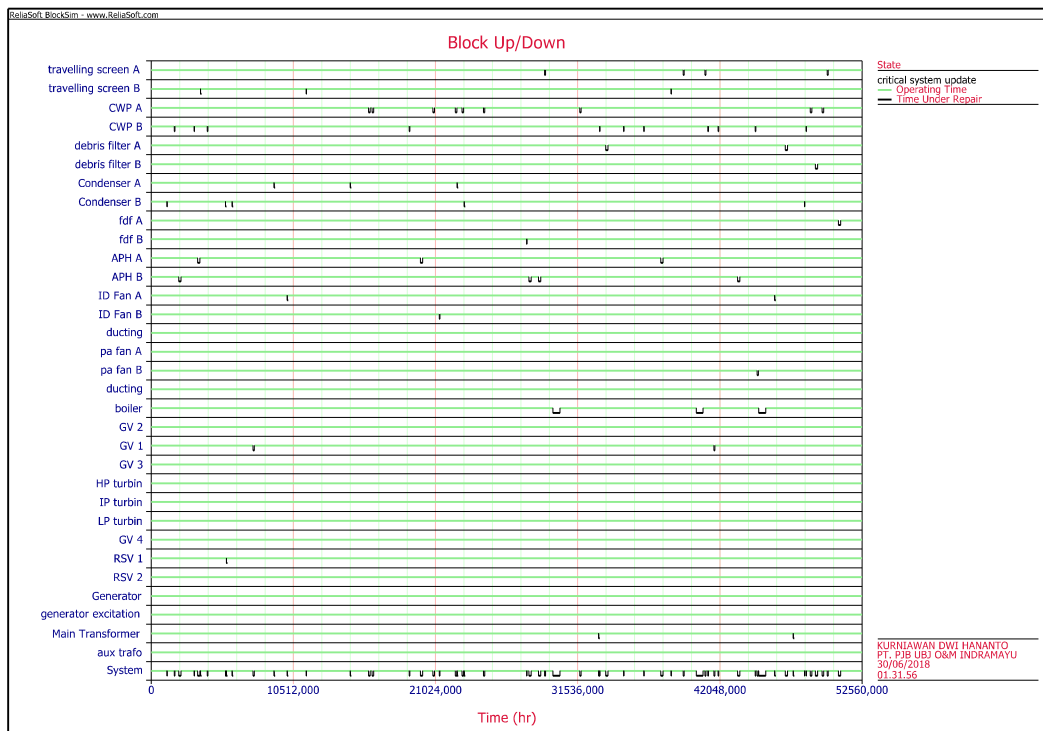


Gambar 4.27. ECHHL Merupakan Fungsi Waktu

4.7.3. Menghitung *Economic Consequences of Production Loss (ECPL)*

Penghitungan ECPL memerlukan simulasi *up down system plant*. Simulasi tersebut dinamakan diagram *block up down*, yaitu simulasi yang dapat memberikan gambaran kapan *plant* dalam kondisi *down* oleh pengaruh kondisi *failure equipment* penyusun RBD.

Gambar 4.26. menunjukan *block up down* diagram pada *plant* pada periode *mission time* 52560 jam operasi setelah system berjalan 52752 jam operasi.



Gambar 4.28. Diagram *Block Down Mission Time* 52560 jam

Gambar di atas dapat dilakukan zoom dari periode *mission time* 52560 jam menjadi *mission time* 8000 jam supaya dapat dilihat dengan jelas koordinat waktu *up* dan *down* pada *equipment* dan *plant*.



Gambar 4.29. Diagram *Block Up Down Mission Time* 8000 jam

Perhitungan rumus (35) untuk mencari nilai ECPL dapat dilakukan dengan mudah dengan mempergunakan diagram *Block Up Down*, sehingga dapat diketahui SDT (h), DC, dengan tetapan DMN : 290 kW, SP = Rp 611,3- per kWh dan NCF : 88 % (data Maret 2018). Perhitungan ECPL dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 4.15. Perhitungan ECPL

No.	Peralatan Down	Start	SDT	DC	Losses	Losses Kumulatif
		h	h		SDT x DC x SP x DMN x NCF	
1	Condenser B	1163,15	12	0,5	1.872.045.120	1.872.045.120
2	CWP B	1705,34	41	0,5	6.396.154.160	8.268.199.280
3	APB B	2023,55	168	0,5	26.208.631.680	34.476.830.960
4	CWP B	3160,38	41	0,5	6.396.154.160	40.872.985.120
5	APH A	3422,32	168	0,5	26.208.631.680	67.081.616.800
6	Travelling screen A	3631,05	16	0,5	2.496.060.160	69.577.676.960
7	CWP B	4135,94	41	0,5	6.396.154.160	75.973.831.120
8	Condenser B	5474,53	12	0,5	1.872.045.120	77.845.876.240
9	RSV 1	5548,15	16	0,5	2.496.060.160	80.341.936.400
10	Condenser B	5980,5	12	0,5	1.872.045.120	82.213.981.520

Tabel 4.15. Perhitungan ECPL (Lanjutan)

No.	Peralatan Down	Start	SDT	DC	Losses	Losses Kumulatif
		h	h		SDT x DC x SP x DMN x NCF	
11	GV1	7528,73	89	0,3	13.884.334.640	96.098.316.160
12	Condenser A	9080,34	12	0,5	1.872.045.120	97.970.361.280
13	ID Fan A	10050,2	5	0,5	780.018.800	98.750.380.080
14	Travelling screen B	11452	16	0,5	2.496.060.160	101.246.440.240
15	Condenser A	14709,9	12	0,5	1.872.045.120	103.118.485.360
16	CWP A	16068,3	108	0,5	16.848.406.080	119.966.891.440
17	CWP A	16336,5	108	0,5	16.848.406.080	136.815.297.520
18	CWP B	19070,5	41	0,5	6.396.154.160	143.211.451.680
19	APH A	19890,1	168	0,5	26.208.631.680	169.420.083.360
20	CWP A	20830,1	108	0,5	16.848.406.080	186.268.489.440
21	ID Fan B	21286,4	53	0,5	8.268.199.280	194.536.688.720
22	CWP A	22487,2	108	0,5	16.848.406.080	211.385.094.800
23	Condenser A	22613,8	12	0,5	1.872.045.120	213.257.139.920
24	CWP A	22982,8	108	0,5	16.848.406.080	230.105.546.000
25	Condenser B	23143,9	12	0,5	1.872.045.120	231.977.591.120
26	CWP A	24554,3	108	0,5	16.848.406.080	248.825.997.200
27	FDF B	27754,4	30	0,5	4.680.112.800	253.506.110.000
28	APH B	27930,5	168	0,5	26.208.631.680	279.714.741.680
29	APH B	28635,1	168	0,5	26.208.631.680	305.923.373.360
30	Travelling Screen A	29082,2	71	0,5	11.076.266.960	316.999.640.320
31	Boiler	29694,2	516	1	80.497.940.160	397.497.580.480
32	CWP A	31688,3	108	0,5	16.848.406.080	414.345.986.560
33	Main Transformer	33078,3	8	1	1.248.030.080	415.594.016.640
34	CWP B	33147	41	0,5	6.396.154.160	421.990.170.800
35	Debris Filter A	33599,7	170	0,5	26.520.639.200	448.510.810.000
36	CWP B	34924,7	41	0,5	6.396.154.160	454.906.964.160
37	CWP B	36414,4	41	0,5	6.396.154.160	461.303.118.320
38	APH A	37683	168	0,5	26.208.631.680	487.511.750.000
39	Travelling Screen B	38436,2	16	0,5	2.496.060.160	490.007.810.160
40	Travelling Screen A	39343,3	71	0,5	11.076.266.960	501.084.077.120
41	Boiler	40295,2	516	1	80.497.940.160	581.582.017.280
42	Travelling Screen A	40943,2	71	0,5	11.076.266.960	592.658.284.240
43	CWP B	41162,6	41	0,5	6.396.154.160	599.054.438.400
44	GV 1	41593,5	89	0,3	13.884.334.640	612.938.773.040
45	CWP B	41923	41	0,5	6.396.154.160	619.334.927.200
46	APH B	43366,5	168	0,5	26.208.631.680	645.543.558.880
47	CWP B	44655,8	41	0,5	6.396.154.160	651.939.713.040
48	PA Fan B	44802,8	93	0,5	14.508.349.680	666.448.062.720
49	Boiler	44929,3	516	1	80.497.940.160	746.946.002.880
50	ID Fan A	46107,9	5	0,5	780.018.800	747.726.021.680
51	Debris Filter A	46889,4	170	0,5	26.520.639.200	774.246.660.880
52	Main Transformer	47478,6	8	1	1.248.030.080	775.494.690.960

Tabel 4.15. Perhitungan ECPL (Lanjutan)

No.	Peralatan Down	Start	SDT	DC	Losses	Losses Kumulatif
		h	h		SDT x DC x SP x DMN x NCF	
53	Condenser B	48314,1	12	0,5	1.872.045.120	777.366.736.080
54	CWP B	48412,8	41	0,5	6.396.154.160	783.762.890.240
55	CWP A	48734,9	108	0,5	16.848.406.080	800.611.296.320
56	Debris Filter B	49108,4	170	0,5	26.520.639.200	827.131.935.520
57	CWP A	49611	108	0,5	16.848.406.080	843.980.341.600
58	Travelling Screen A	49995	71	0,5	11.076.266.960	855.056.608.560
59	FD Fan A	50815,5	165	0,5	25.740.620.400	880.797.228.960

Tabel di atas menunjukkan bahwa ECPL akan meningkat berdasarkan jam operasi. Supaya data tersebut dapat diolah, maka perlu ditransfer menjadi sebuah persamaan dengan $y = ECPL(t)$. Cara untuk menyusun menjadi persamaan adalah sebagai berikut :

- a. Dilakukan plotting data, kemudian trial regresi dengan model distribusi linear, eksponensial, power, polinomial orde 2, polinomial orde 3, polinomial orde 4
- b. Dilakukan penghitungan Sum of Square Error (SSE) terhadap setiap model distribusi
- c. Distribusi yang mempunyai SSE terkecil dipilih sebagai model persamaan

Hasil penghitungan SSE berdasarkan jenis distribusi adalah :

Tabel 4.16. Perbandingan *Sum of Square Error* dari ECPL

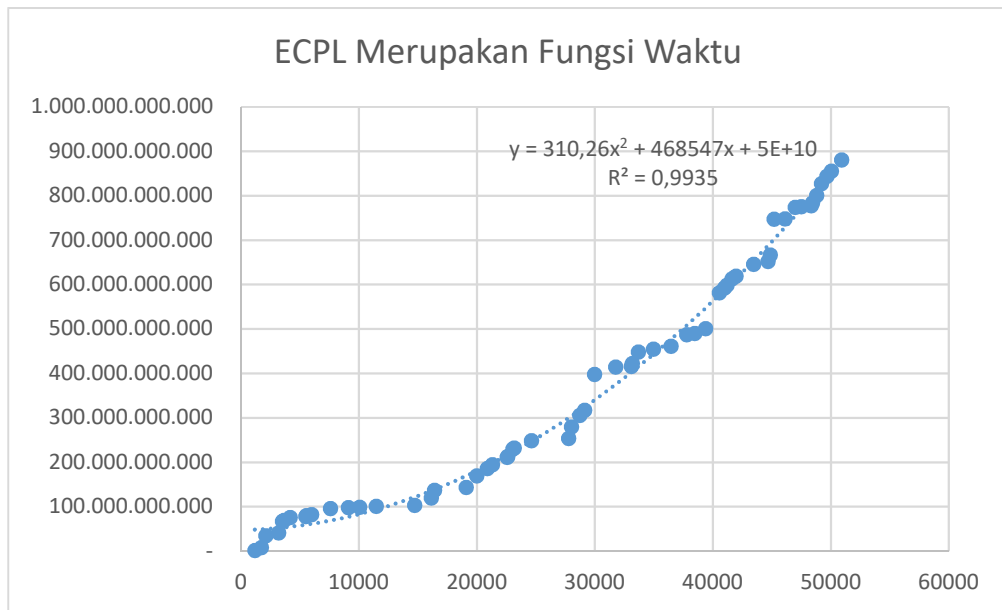
Regresi	Persamaan	SSE $\sum_{i=1}^n (y - \hat{y})^2$
Linear	$y = 2.10^7x - 8.10^{10}$	1,00054E+24
Eksponensial	$y = 4.10^{10}e^{7.10^{-5}x}$	1,98738E+24
Power	$y = 2.10^6 \cdot x^{1,1687}$	6,15582E+23
Polinomial Orde 2	$y = 310,26 \cdot x^2 + 468547x + 5.10^{10}$	2,8952E+22
Polinomial Orde 3	$y = 0,0011x^3 + 222,08 \cdot x^2 + 2.10^6x + 4.10^{10}$	3,54338E+22
Polinomial Orde 4	$y = -2.10^{-7} \cdot x^4 + 0,0173x^3 - 334,53 \cdot x^2 + 9.10^6x + 2.10^{10}$	1,06208E+24
Polinomial Orde 5	$y = 2.10^{-11} \cdot x^5 - 3.10^{-6} \cdot x^4 + 0,159x^3 - 3142,6 \cdot x^2 + 3.10^7x - 2.10^{10}$	5,40103E+23
Polinomial Orde 6	$y = -1.10^{-15} \cdot x^6 + 2.10^{-10} \cdot x^5 - 2.10^{-5} \cdot x^4 + 0,4948x^3 - 7597,4 \cdot x^2 + 5.10^7x - 6.10^{10}$	1,31732E+28

Keterangan :

y : nilai aktual

\hat{y} : nilai prediksi dengan persamaan

Dari tabel di atas dapat diketahui bahwa SSE dari regresi polinomial orde 3 adalah yang terkecil sehingga paling sesuai untuk dipergunakan sebagai model persamaan.



Gambar 4.30. Grafik ECPL Merupakan Fungsi Waktu

Grafik ECPL vs Time dapat diperoleh dengan regresi polinomial orde 2 dengan nilai persamaan :

$$ECPL = 5 \times 10^{10} + 468547t + 310,26t^2 \quad \dots\dots\dots(91)$$

R-Sq : 99,3%

Dengan T : mission time (h)

4.7.4. Menghitung *Economic Consequences of Shutdown Inspection and Maintenance Cost (ECSIM)*

i. Menghitung biaya persiapan (Cp)

Standar untuk menghitung C1p adalah menggunakan Kelly Services (2017), dengan rincian :

- *Project Manager*, Rp 482.955,- per jam
- *Site Manajer* Rp. 156.250,- per jam
- *Project Engineer*, Rp. 284,091,-per jam
- *QC Engineer*, Rp. 142.045,- per jam.

Biaya perencanaan dan pengontrolan proyek (Cp) dapat dilihat pada tabel 4.12, dengan hasil Cp = 692.045.455,-

Tabel 4.17. Biaya Perencanaan dan Pengontrolan Proyek (Cp)

No.	Personil	Tarif per Jam	Jumlah	Jam	Biaya
1	Project Manager	482.955	1	336	162.272.727
2	Site Manajer	156.250	1	336	52.500.000
3	Project Engineer	284.091	3	336	286.363.636
4	QC Engineer	142.045	4	336	190.909.091
					<u>692.045.455</u>

ii. Menghitung biaya inspeksi (Ci)

Standar untuk menghitung Ci adalah menggunakan Kelly Services (2017), dengan menggunakan pendekatan gaji bulanan level *welding inspector* atau Rp. 142.045,- per jam. Detail perhitungan Ci dapat dilihat di tabel 4.13 dengan hasil Ci = Rp. 517.954.545,-

iii. Menghitung biaya pemeliharaan dan material (Cimm)

Standar untuk menghitung C_{lm} adalah menggunakan Kelly Services (2017), dengan menggunakan pendekatan gaji bulanan :

- Level Teknisi Senior : dipersamakan dengan level *engineer range* maksimal, atau Rp. 96.590,- per jam
- Level Teknisi Yuniior : dipersamakan dengan level *engineer range* minimal, atau Rp. 56.818,- per jam

Level Helper : dipersamakan dengan level *engineer range* maksimal dikalikan 0,5 atau Rp. 48.295,- per jam

Tabel 4.18 Perhitungan Biaya Inspeksi (Ci)

No.	Equipment	Biaya Inspeksi ($Ci = n \times Cli \times t2 + Cie \times t3$)						Inspeksi
		n	Cli	t2	Cie	t3	Ci	
1	Condenser A				205.000.000	1	205.000.000	Eddy
2	Condenser B				205.000.000	1	205.000.000	
3	Boiler	5	142.045	56			39.772.727	Remaining Life Assessment (RLA)
4	HP Turbine	5	142.045	16			11.363.636	RLA
5	IP Turbine	5	142.045	16			11.363.636	RLA
6	LP Turbine	5	142.045	16			11.363.636	RLA
7	Generator Excitation	5	142.045	16			11.363.636	RLA
8	Main Transformer	5	142.045	16			11.363.636	RLA
9	Auxiliary Transformer	5	142.045	16			11.363.636	RLA

517.954.545

Biaya material (Cts) dipergunakan data Rencana Anggaran Belanja perusahaan periode overhaul 2017 untuk equipment yang sama.

Breakdown perhitungan dapat dilihat pada tabel 4.19. di bawah ini, dengan hasil Cimm = Rp. 6.209.934.727,-

Tabel 4.19. Penghitungan Biaya Pemeliharaan dan Material (Cimm)

No.	Equipment	Manpower			Hours	Biaya Pemeliharaan dan Material (Cimm)				
		TS	TY	H		nxCimxt4			Csp	Cm = n x CIm x t4 + Csp
						TS	TY	H		
1	Travelling Screen A	1	2	10	80	7.727.273	9.090.909	38.636.364	147.753.000	203.207.545
2	Travelling Screen B	1	2	10	80	7.727.273	9.090.909	38.636.364	147.753.000	203.207.545
3	CWP A	1	2	10	80	7.727.273	9.090.909	38.636.364	299.997.086	355.451.632
4	CWP B	1	2	10	80	7.727.273	9.090.909	38.636.364	299.997.086	355.451.632
5	Condenser A	1	1	15	80	7.727.273	4.545.455	57.954.545	49.437.500	119.664.773
6	Condenser B	1	1	15	80	7.727.273	4.545.455	57.954.545	49.437.500	119.664.773
7	FD Fan A	1	1	8	200	19.318.182	11.363.636	77.272.727	2.000.000	109.954.545
8	FD Fan B	1	1	8	200	19.318.182	11.363.636	77.272.727	2.000.000	109.954.545
9	PA Fan A	1	1	4	168	16.227.273	9.545.455	32.454.545	2.000.000	60.227.273
10	PA Fan B	1	1	4	168	16.227.273	9.545.455	32.454.545	2.000.000	60.227.273
11	APH A	1	1	10	200	19.318.182	11.363.636	96.590.909	2.000.000	129.272.727
12	APH B	1	1	10	200	19.318.182	11.363.636	96.590.909	2.000.000	129.272.727
13	ID Fan A	1	1	4	168	16.227.273	9.545.455	32.454.545	38.000.000	96.227.273
14	ID Fan B	1	1	4	168	16.227.273	9.545.455	32.454.545	38.000.000	96.227.273
15	Boiler	3	5	43	456	132.136.364	129.545.455	946.977.273	2.000.000	1.210.659.091
16	GV1	1	1	1	8	772.727	454.545	386.364	6.785.000	8.398.636
17	GV2	1	1	1	8	772.727	454.545	386.364	6.785.000	8.398.636
18	GV3	1	1	1	8	772.727	454.545	386.364	6.785.000	8.398.636
19	GV4	1	1	1	8	772.727	454.545	386.364	6.785.000	8.398.636
20	HP Turbine	1	1	20	616	59.500.000	35.000.000	595.000.000	124.533.333	814.033.333
21	RSV1	1	1	1	8	772.727	454.545	386.364	2.000.000	3.613.636
22	RSV2	1	1	1	8	772.727	454.545	386.364	2.000.000	3.613.636
23	IP Turbine	1	1	20	616	59.500.000	35.000.000	595.000.000	124.533.333	814.033.333
24	LP Turbine	1	1	20	616	59.500.000	35.000.000	595.000.000	124.533.333	814.033.333

iv. Menghitung biaya technical support (Cts)

Cts dihitung berdasarkan data data Rencana Anggaran Belanja perusahaan periode overhaul 2017 untuk equipment yang sama. Penghitungan disampaikan dalam tabel 4.20. dengan hasil Cts = 2.680.000.000

Berdasarkan perhitungan di atas, maka nilai ECSIM dapat diketahui , yaitu :

$$ECSIM = 692.045.455 + 517.954.545 + 6.209.934.727 + 2.680.000.000$$

= Rp. 10.099.934.727,-

Tabel 4.19. Penghitungan Biaya Pemeliharaan dan Material (Cimm) Lanjutan

No.	Equipment	Manpower			Hours	Biaya Pemeliharaan dan Material (Cimm)				
						nxCimxt4			Csp	Cm = n x Cim x t4 + Csp
		TS	TY	H		TS	TY	H		
22	RSV2	1	1	1	8	772.727	454.545	386.364	2.000.000	3.613.636
23	IP Turbine	1	1	20	616	59.500.000	35.000.000	595.000.000	124.533.333	814.033.333
24	LP Turbine	1	1	20	616	59.500.000	35.000.000	595.000.000	124.533.333	814.033.333
25	Generator Excitation	1	1	2	56	5.409.091	3.181.818	5.409.091	2.000.000	16.000.000
26	Generator	1	3	5	112	10.818.182	19.090.909	27.045.455	19.097.200	76.051.745
27	Main Transformer	2	2	4	96	18.545.455	10.909.091	18.545.455	5.730.650	53.730.650
28	Auxiliary Transformer	2	4	5	96	18.545.455	21.818.182	23.181.818	5.730.650	69.276.105
29	Debris filter A	1	2	8	56	5.409.091	6.363.636	21.636.364	43.232.800	76.641.891
30	Debris filter B	1	2	8	56	5.409.091	6.363.636	21.636.364	43.232.800	76.641.891
										6.209.934.727

Tabel 4.20. Perhitungan Cts

No.	Equipment	Biaya technical support (Cts)	
		Item	Cts
5	Condenser A	Jasa cleaning condenser	250.000.000
6	Condenser B	Jasa cleaning condenser	250.000.000
15	Boiler	Scaffolding dan cleaning	1.600.000.000
16	GV1	Jasa repair	60.000.000
17	GV2	Jasa repair	60.000.000
18	GV3	Jasa repair	60.000.000
19	GV4	Jasa repair	60.000.000
21	RSV1	Jasa repair	170.000.000
22	RSV2	Jasa repair	170.000.000
			<u>2.680.000.000</u>

4.7.5. Penghitungan Total Economic Consequence of Failure (ECT)

Berdasarkan data penghitungan di atas, maka dapat dilakukan penghitungan ECT dengan mempergunakan rumus no ...dengan hasil :

$$ECT(t) = (ECAL(t) + ECHHL(t)) \text{turbine} + \sum_{i=1}^n ECSIM + ECPL$$

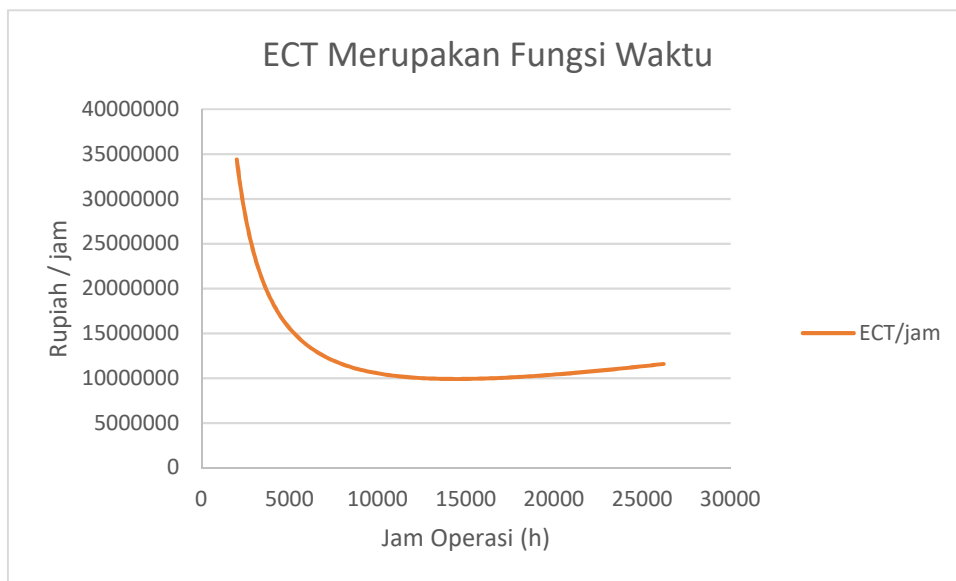
$$ECT(t) = \left(1 - \frac{1}{0,9827} e^{-\left(0,2475 + \frac{t}{213120}\right)^{2,9}}\right) \times 331470577932 +$$

$$\left(1 - \frac{1}{0,9827} e^{-\left(0,2475 + \frac{t}{213120}\right)^{2,9}}\right) \times 1981800000 + 10099934727 + 5 \times 10^{10} + 468547t +$$

$$310,26t^2$$

$$ECT(t) = -339322659949,12 e^{-\left(0,2475 + \frac{t}{213120}\right)^{2,9}} + 310,26t^2 + 468547t + 399422594676 \quad (92)$$

Grafik ECT''(t) dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 4.31. Grafik ECT/t Merupakan Fungsi Waktu

4.8. Penghitungan Risiko (RISKe)

Penghitungan *estimated operational risk* (RISKe) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (43) sehingga diperoleh persamaan RISKe berdasarkan waktu :

$$RISKe(t) = Fplant(t) \times ECT(t)$$

$$RISKe(t) = \left(1 - 0,9969 \cdot e^{-\left(\frac{t-7,5942}{602,0508}\right)^{0,9755}}\right) \times \left(-339322659949,12 e^{-\left(0,2475 + \frac{t}{213120}\right)^{2,9}} + 310,26t^2 + 468547t + 399422594676\right)$$

(93)

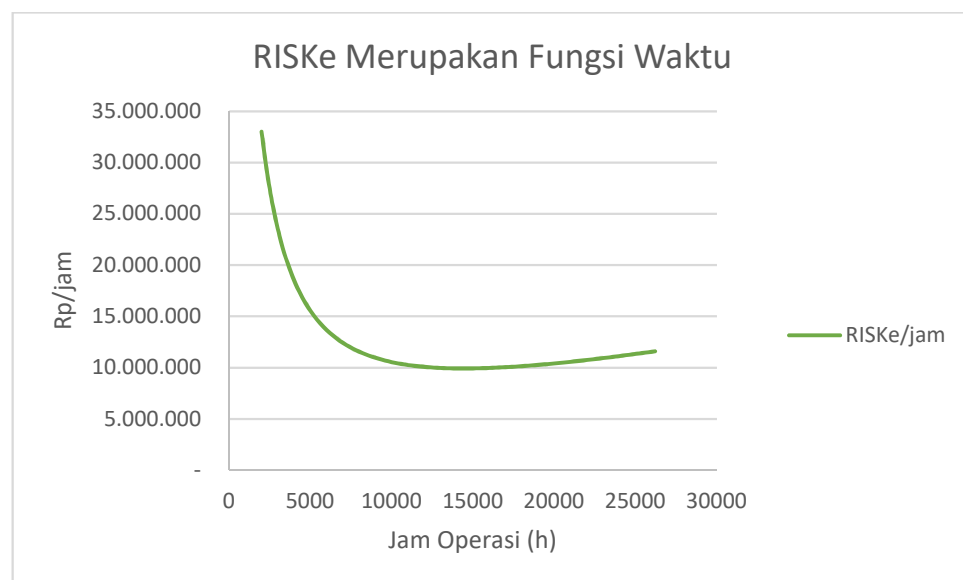
Nilai risiko relatif terhadap waktu dapat dihitung dengan rumus :

$$RISKe'' = \frac{RISKe}{t} \quad (94)$$

sehingga dapat dituliskan :

$$RISKe''(t) = \frac{1}{t} \left(1 - 0,9969 \cdot e^{-\left(\frac{t-7,5942}{602,0508}\right)^{0,9755}} \right) \times \left(-339322659949,12 e^{-\left(0,2475 + \frac{t}{213120}\right)^{2,9}} + 310,26t^2 + 46854t + 399422594676 \right) \quad (95)$$

Grafik RISKe'' dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar. 4.32. Grafik RISKe'' Berdasarkan Fungsi Waktu

4.9. Menghitung *Total Maintenance Cost*

Sistem keuangan membagi biaya pemeliharaan menjadi biaya *preventif*, biaya *corrective*, biaya *emergency maintenance* dan biaya *overhaul*. Berdasarkan lampiran 8, dengan mengambil rata-rata biaya pemeliharaan bulanan, dihitung dari satu periode utuh dari *overhaul n-1* ke *overhaul n*, dimana periode *n* adalah *overhaul* terakhir (mulai Oktober 2016 sampai Oktober 2017) diperoleh :

- i. Biaya preventive maintenance Rp. 268.453.748,- per bulan
- ii. Biaya corrective maintenance Rp. 517.526.176,- per bulan
- iii. Biaya emergency maintenance Rp. 7.783.462,- per bulan

sehingga diperoleh total biaya rutin pemeliharaan (Rc) per bulan adalah Rp. 793.763.386,- atau Rp 1.102.449 ,- per jam

Berdasarkan lampiran 9 Rincian Biaya OH 2017, diketahui untuk biaya overhaul terakhir adalah sebagai berikut :

- 1. Biaya material Rp. 23.442.134.529,-
- 2. Biaya jasa Rp. 9,211.742.831

Sehingga total biaya overhaul terakhir adalah Rp 32.653.877.360

Berdasarkan data di atas dan rumus (52) dilakukan penghitungan *Total Maintenance Cost* (Kr), yaitu :

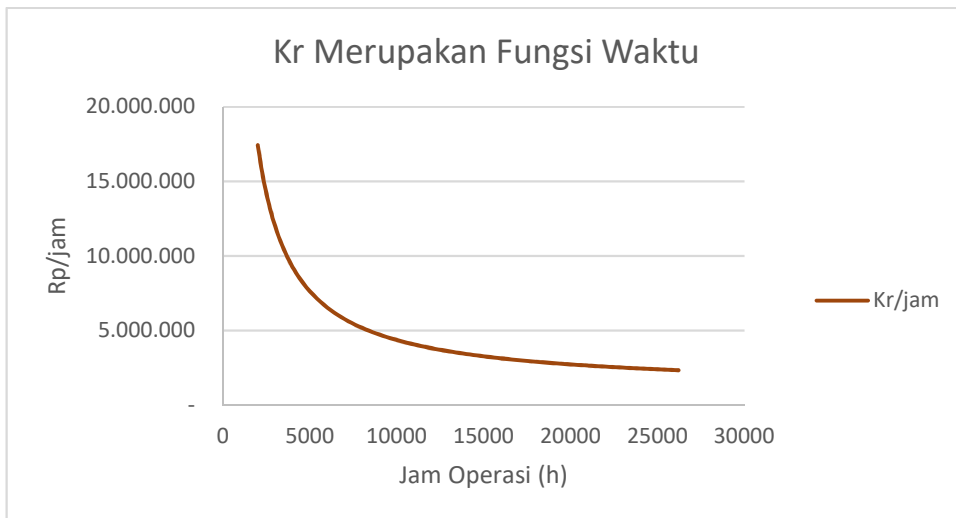
$$Kr = 32.653.877.360 + 1.102.449 t \quad (96)$$

Nilai Kr dalam satuan waktu (Kr'') dapat ditulis sebagai berikut

$$Kr'' = \frac{1}{t} (32.653.877.360 + 1.102.449t) \quad (97)$$

Dengan t di dalam jam.

Grafik Kr'' dapat dilihat pada gambar berikut ini :



Gambar. 4.33. Grafik Kr” Merupakan Fungsi Waktu

4.10. Menghitung *Total Cost* (Kc)

Total cost (Kc) adalah penjumlahan dari *Total Maintenance Cost* (Kr) dan *estimated operational risk* (RISKe). Kc dalam satuan waktu (Kc”) dapat disusun persamaannya sebagai berikut :

$$Kc'' = RISKe'' + Kr''$$

$$Kc''(t) = \frac{1}{t} \left(1 - 0,9969 \cdot e^{-\left(\frac{t-7,5942}{602,0508}\right)^{0,9755}} \right) \times \left(-339322659949,12 e^{-\left(0,2475 + \frac{t}{213120}\right)^{2,9}} + 310,26t^2 + 468547t + 399422594676 \right) + \frac{1}{t} (32653877360 + 1102449t) \quad (98)$$

Apabila perusahaan bertujuan untuk mengetahui kapan *plant* akan mempunyai *total cost* terkecil per jam operasi dihitung dari *plant running* pertama setelah overhaul terakhir, maka dapat dihitung dengan melakukan optimasi minimasi fungsi (98).

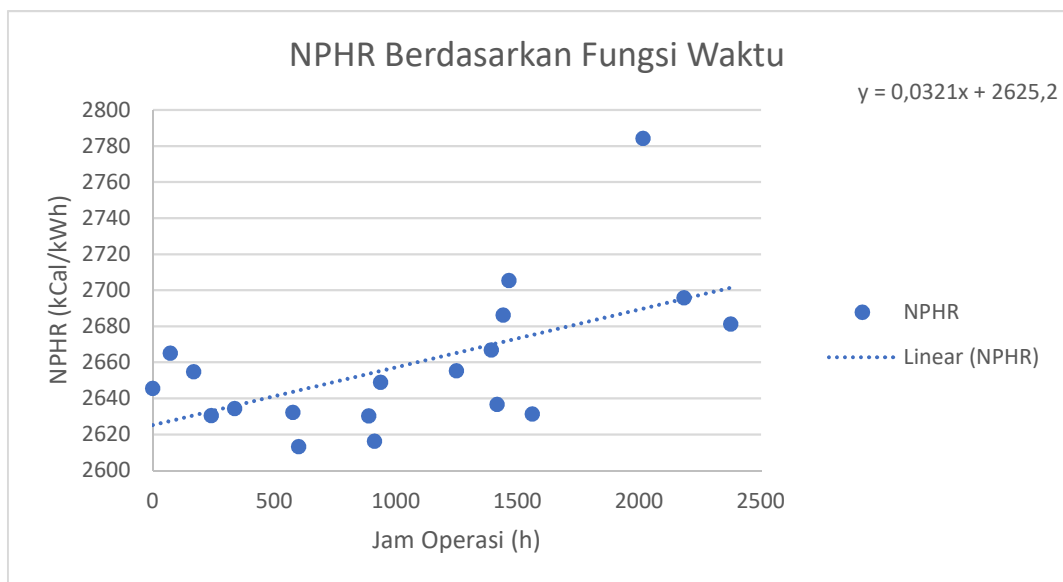
4.11. Menghitung Profit

Obyek penelitian merupakan unit pembangkit listrik yang melakukan supply energi ke jaringan. Penjualan energi tersebut mendatangkan profit setelah dikurangi dengan beberapa pos pengeluaran dari perusahaan. Penelitian ini mengambil fokus pos pengeluaran pada pembelian bahan bakar sehingga pendapatan bersih adalah berasal dari penjualan energi listrik dikurangi dengan

biaya bahan bakar. Sebagai tujuan dari proses ini adalah untuk mendapatkan nilai profit dalam satuan waktu (V”).

4.11.1. Menghitung trending *Nett Plant Heat Rate* (NPHR)

Menghitung NPHR memerlukan proses yang banyak, karena banyak faktor yang berpengaruh terhadap nilainya, diantaranya, variasi HHV bahan bakar, manuver operasi, CF dan lain lain. Penghitungan NPHR tidak menjadi fokus penelitian ini. Penentuan persamaan NPHR dilakukan dengan melakukan trending pada hasil pengujian NPHR bulanan setelah overhaul terakhir dari Januari – April 2018. Detail data dapat dilihat di lampiran 10.



Gambar 4.34. Trending NPHR

Dengan menggunakan metode yang sama untuk memperoleh persamaan (91), maka dilakukan penghitungan SSE, dengan hasil sebagai berikut :

Tabel 4.21. Perhitungan *Sum Square of Error* NPHR

Regresi	Persamaan	SSE
Linear	$y = 0,0321x + 2625,2$	19399
Eksponensial	$y=2625,4.e^{1.10^{-5}x}$	55219
Polinomial Orde 2	$y = 2. 10^{-5}.x^2 - 0,0217x + 2643,2$	112791

Berdasarkan perhitungan ini, diperoleh bahwa regresi linear mempunyai SSE paling rendah sehingga dipilih sebagai model persamaan NPHR :

$$\text{NPHR}(t) = 0,0321t + 2625,2 \quad (99)$$

Dikarenakan penghitungan NPHR tidak menjadi fokus, maka persamaan dipergunakan dalam penelitian ini.

4.11.2. Menghitung Pendapatan Transfer Energi (Zbrutto) dan Pendapatan Bersih (Z)

Bahan bakar yang dipergunakan selama periode uji performance Januari – April 2018 adalah HHV = 4813 kCal/kg dengan harga rata rata Rp. 792.632,- per ton. Data Maret 2018 untuk CF adalah 0,88 dan HPP 611,3 Rp/kWh, sehingga TE dihitung dengan persamaan (54) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{TE} &= 290.000 \text{ (kW)} \times 0,88 \times 1 \text{ (hour)} \\ &= 255.200 \text{ kW} \end{aligned}$$

Pendapatan brutto dapat dihitung sebagai berikut (persamaan 55) :

$$\begin{aligned} \text{Zbrutto} &= \text{TE} \times \text{BPP} \\ &= 255.200 \text{ (kW)} \times 611,3 \text{ (Rp/kWh)} \\ &= \text{Rp. } 156.003.760,- / \text{jam} \end{aligned}$$

Dengan NPHR yang berubah setiap satuan waktu, dengan permintaan beban yang konstan, maka diperlukan coal consumption yang berubah, sehingga diperoleh :

$$Q_b = \frac{(0,0321t+2625,2) \times 255200}{4813} \quad 151$$

$$Qb = 139196,14 + 1,7t(\text{kg / jam}) \quad (100)$$

Perhitungan pendapatan netto per jam (Z'') berdasarkan waktu dapat diperoleh sebagai berikut :

$$Z''(t) = 156003760 - (139196,14 + 1,7t) \times 792,632$$

Atau

$$Z''(t) = 45672445,16 - 1347,47t \quad (101)$$

4.11.3. Menentukan Persamaan Profit per satuan waktu (V'')

Menghitung V'' dapat diperoleh dengan persamaan (57) sehingga diperoleh persamaan profit V''

$$V''(t) = (45672445,16 - 1347,47t) - \frac{1}{t} \left(1 - 0,9969 \cdot e^{-\left(\frac{t-7,5942}{602,0508}\right)^{0,9755}} \right) \times \left(-339322659949,12 e^{-\left(0,2475 + \frac{t}{213120}\right)^{2,9}} + 310,26t^2 + 468547t + 399422594676 \right) - \frac{1}{t} (32653877360 + 1102449t) \quad (102)$$

Apabila perusahaan bertujuan untuk mengetahui kapan *plant* akan mempunyai profit per jam operasi terbesar dihitung dari *plant running* pertama setelah overhaul terakhir, maka dapat dihitung dengan melakukan optimasi maksimasi fungsi (102).

4.12. Optimasi fungsi Profit , Total Cost dan Risiko

Terdapat 2 persamaan yang perlu dilakukan optimasi, yaitu :

1. Persamaan (102) optimasi maksimasi fungsi profit per jam (V'') yang akan menunjukkan pada saat t berapa plant akan menghasilkan produk dengan profit tertinggi. Apabila t dapat diketahui, maka perusahaan dapat menjadikan patokan t ini untuk menentukan diperlukannya overhaul karena terjadi penurunan kemampuan plant dalam mengasihkan profit.
2. Persamaan (98) optimasi minimasi fungsi *Total Cost* (Kc'') yang akan menunjukkan pada saat t berapa plant mempunyai *total cost* yang terdiri dari penjumlahan biaya pemeliharaan dan risiko per satuan waktu yang paling rendah. Apabila melewati t ini, *total cost* akan meningkat. Perusahaan dapat menggunakan t ini sebagai patokan untuk menentukan dimulainya suatu overhaul apabila tidak dapat mempergunakan hasil optimasi fungsi V'' oleh karena suatu hal, misalkan kebutuhan jaringan terhadap pasokan listrik atau tuntutan efisiensi biaya.

Proses optimasi akan mempergunakan *Genetic Algorithm* (GA) dengan mempergunakan bantuan software Matlab. Alasan pemilihannya adalah GA mampu melakukan pencarian multi-directional dalam solution space, yang memperkecil kemungkinan berhentinya pencarian pada kondisi *local optimum*.

Setting parameter adalah sebagai berikut :

1. *Population Initial Range* :

- batas bawah : 8, dikarenakan di bawah nilai tersebut, akan menghasilkan bilangan imajiner pada nilai fitness.
- Batas atas diambil 52560, yaitu dengan mengambil pengalaman interval overhaul paling panjang (6 tahun) yang pernah dilaksanakan oleh *power plant* di USA

Parameter setting lain adalah *default*, diantaranya :

2. *Population Size* : 10000
3. *Elite Count* : 0.05 * PopulationSize
4. *Crossover Fraction* : 0.8

- 5. *Migration interval* : 20
- 6. *Stall Generation Limit* : 50
- 7. *Initial Penalty* : 10
- 8. *Penalty Factor* : 100
- 9. *Generations* : 100 * number Of Variables

Karena GA mempergunakan trial random sampai tercapai nilai *fitness* optimal, maka dipergunakan looping sebanyak 100 kali kemudian dicari nilai untuk mendapatkan solusi optimalnya.

4.12.1. Optimasi maksimasi fungsi profit

Proses *looping* sebanyak 100 kali, diperoleh nilai *fitness* dan t dapat dilihat di tabel 4.22. Dari 100 kali looping diperoleh *fitness* tertinggi adalah 18165163,23 dengan input $t = 7698,55$. Dalam kondisi riil di lapangan, penentuan t adalah dalam satuan jam dan tidak memerlukan ketelitian angka dibelakang koma. Berdasarkan hal tersebut, pembulatan terhadap nilai t perlu dilakukan trial dengan memasukkan nilai t 7698 dan 7699 ke dalam persamaan V'' dan hasil yang paling tinggi akan dipergunakan sebagai t optimal.

$$V''(7698) = 18152676,94$$

$$V'(7699) = 18152675,43$$

Dikarenakan $V''(7698) > V''(7699)$ maka dapat disimpulkan nilai V'' akan maksimal pada $t = 7698$. T pada V'' maksimal dinotasikan sebagai t_{op}

Plotting grafik V'' dapat digambarkan pada gambar 4.32

Tabel 4.22. Hasil Simulasi Fitness Fungsi V'' dengan GA

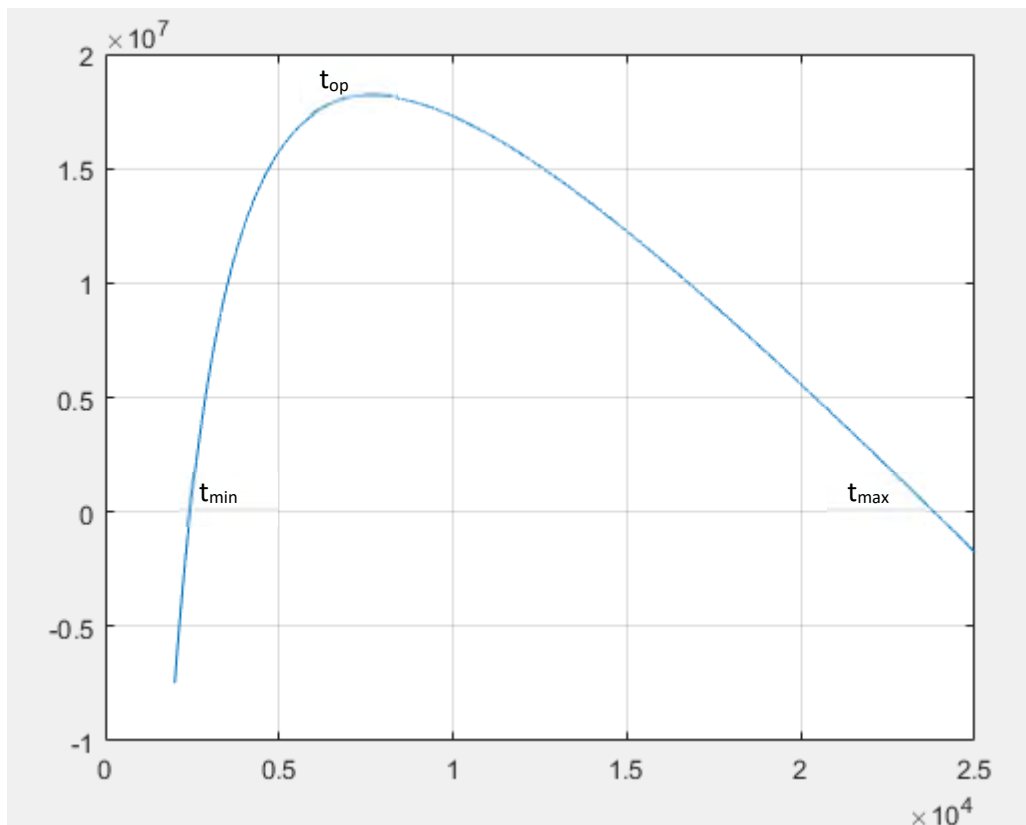
Loop ke-	t	Fitness	Loop ke-	t	Fitness
1	7695,448	18165161	21	23809,63	22521,63
2	23806,72	26856,31	22	2464,043	208680,2
3	7770,949	18164048	23	7773,198	18163978
4	23989,66	-246051	24	23796,06	42753,31
5	2465,125	223295,3	25	23701,33	183852,3
6	7687,448	18165136	26	23844,55	-29530,4
7	7784,169	18163604	27	23838,36	-20313
8	23945,09	-179515	28	7698,557	18165163
9	7724,075	18165025	29	7716,175	18165098
10	23825,53	-1175,4	30	23823,28	2169,004
11	13476,7	14043235	31	2453,03	59149,51
12	2434,128	-200654	32	23824,45	425,3034
13	7937,795	18153190	33	23986	-240576
14	23800,21	36568,63	34	7664,264	18164905
15	23826,4	-2482,31	35	7781,791	18163690
16	23814,66	15021,18	36	23778,95	68249,17
17	7700	18165163	37	7654,515	18164738
18	23879,02	-80932,5	38	7699,043	18165163
19	23890,12	-97501,2	39	23751,8	108690,8
20	23730,11	140993,5	40	24024,03	-297372

Tabel 4.22. Hasil Simulasi Fitness Fungsi V” dengan GA

Loop ke-	t	Fitness	Loop ke-	t	Fitness
61	23822,01	4073,876	41	23788,02	54733,19
62	23914,88	-134428	42	23763,38	91445,36
63	23839,29	-21693,6	43	23953,11	-191486
64	23939,32	-170906	44	23835,46	-15976,1
65	23802,77	32738,87	45	7722,309	18165044
66	7695,654	18165161	46	23764,27	90109,82
67	7690,421	18165148	47	23793,5	46558,25
68	7623,798	18163937	48	7720,821	18165058
69	23861,32	-54546,6	49	7781,876	18163687
70	7933,623	18153598	50	7725,073	18165014
71	7683,114	18165110	51	7674,37	18165034
72	23820,08	6942,949	52	23887,69	-93871,5
73	2426,114	-312040	53	24098,33	-408390
74	23726,69	146097,8	54	7718,843	18165076
75	23824,61	198,5277	55	23769,48	82351,36
76	23882,02	-85412,6	56	7683,381	18165112
77	23777,78	69988,51	57	24153,24	-490483
78	23912,15	-130359	58	23846,47	-32404,7
79	2454,053	73094,16	59	7654,567	18164739
80	23754,22	105093	60	7927,254	18154208

Tabel 4.22. Hasil Simulasi Fitness Fungsi V” dengan GA

Loop ke-	t	Fitness
81	23826,35	-2406,95
82	23614,18	313548,9
83	23885,74	-90958,7
84	23871,21	-69284,1
85	7697,067	18165163
86	23799,32	37885,01
87	23795,35	43804,08
88	23702,91	181500,5
89	7672,177	18165010
90	7661,228	18164857
91	23774,11	75449,05
92	23432,64	583356,1
93	7768,85	18164111
94	23806,85	26666,95
95	23808,14	24746,63
96	7750,55	18164588
97	7634,245	18164256
98	23943,81	-177600
99	24061,09	-352737
100	23939,22	-170746



Gambar 4.35. Grafik V'' Berdasarkan Waktu

Penghitungan adalah sebagai berikut :

Kondisi *plant* pada saat menghasilkan profit 0 perlu dianalisa dalam rangka mempermudah perusahaan mengetahui kapan *plant* memasuki fase menguntungkan atau merugikan. Terdapat 2 titik dimana nilai V'' bersinggungan dengan $V = 0$, yaitu :

- a. t_{min} , dimana pada kondisi ini terjadi peningkatan nilai V'' dari negatif menjadi positif atau *plant* sudah mulai menghasilkan keuntungan. Berdasarkan gambar 4.32 dapat diperkirakan bahwa titik t_{min} berada antara $t = 2200$ dan $t = 2500$.
- b. t_{max} , dimana pada kondisi ini terjadi penurunan nilai V'' dari positif menjadi negatif atau *plant* sudah mulai dalam kondisi rugi. Berdasarkan gambar 4.32 dapat diperkirakan bahwa titik t_{max} berada antara $t = 23700$ dan $t = 23900$.

Untuk mencari t_{min} dan t_{max} lebih presisi, dapat dilakukan dengan cara :

1. Population Initial Range disetting dari 2200 sampai 2500 untuk mencari t_{min} , dan 23700 sampai 23900 untuk mencari t_{max} .
2. Fungsi V'' di absolut, untuk mencegah munculnya nilai fitness negatif
3. Dilakukan minimasi GA dengan loop 100 kali untuk mendapatkan nilai fitness terkecil. Hasil simulasi *fitness* untuk mencari t_{min} adalah sebagai berikut :

Tabel 4.23. Hasil Simulasi Fitness Mencari t_{min}

Loop ke	t	Fitness	Loop ke	t	Fitness
1	2448,6	1447,91	21	2448,64	900,511
2	2448,67	438,34	22	2449,43	9917,96
3	2448,52	2535,96	23	2448,58	1627,87
4	2448,81	1427,16	24	2448,79	1145,76
5	2448,38	4443,34	25	2447,55	15827,9
6	2448,71	182,69	26	2448,65	682,422
7	2448,1	8294,33	27	2448,55	2115,49
8	2448,93	3102,67	28	2448,69	129,571
9	2448,84	1846,15	29	2449,23	7214
10	2447,09	22073,8	30	2448,55	2100,12
11	2448,73	337,84	31	2448,81	1461,93
12	2448,74	577,48	32	2448,36	4674,28
13	2448,68	283,94	33	2448,73	435,584
14	2448,8	1331,13	34	2448,78	1043,32
15	2449,24	7391,2	35	2450,07	18728,7
16	2448,6	1447,08	36	2448,19	7061,41
17	2449,62	12617,1	37	2448,69	208,185
18	2448,62	1045,59	38	2448,75	616,92
19	2448,49	2926,81	39	2448,75	707,844
20	2448,83	1733,36	40	2448,73	457,422

Tabel 4.23. Hasil Simulasi Fitness Mencari t_{\min} (Lanjutan)

Loop ke	t	Fitness	Loop ke	t	Fitness
41	2448,07	8667,46	61	2448,79	1228,34
42	2448,7	13,9612	62	2449,67	13303,7
43	2448,39	4316,95	63	2447,85	11633,1
44	2448,06	8750,11	64	2449,23	7236,62
45	2448,69	120,934	65	2448,65	636,31
46	2448,62	1166,07	66	2448,86	2211,74
47	2448,71	182,222	67	2450,65	26688,7
48	2447,91	10781,1	68	2448,69	143,07
49	2448,69	217,818	69	2448,69	119,49
50	2448,67	377,47	70	2447,44	17242
51	2448,51	2646,23	71	2448,58	1699,73
52	2448,58	1680,24	72	2448,68	283,72
53	2448,77	928,247	73	2449,37	9158,19
54	2448,68	302,613	74	2448,73	420,69
55	2448,63	964,621	75	2448,56	1977,04
56	2448,77	990,905	76	2448,57	1758,92
57	2448,7	14,3193	77	2448,66	521,17
58	2449,06	4865,47	78	2448,73	371,33
59	2448,72	254,063	79	2448,91	2905,37
60	2448,61	1222	80	2448,74	536,99

Hasil simulasi diperoleh nilai *fitness* terkecil adalah 11 dengan $t : 2448,70$. Pembulatan t_{\min} dilakukan dengan cara yang sama seperti langkah untuk mencapai top, sehingga dapat ditulis sebagai berikut :

$$|V(2448)|= 13.567,94$$

$$|V(2449)|= 120$$

Oleh karena abs V'' pada saat $t : 2449 <$ daripada nilai $t : 2448$, maka $t_{\min} : 2449$ dipilih sebagai t_{\min} .

Selanjutnya adalah mencari t_{\max} dengan cara yang sama seperti di atas, sehingga diperoleh hasil simulasi sebagai berikut :

Tabel 4.24. Hasil Simulasi *Fitness* Mencari t_{max}

Loop ke	t	Fitness
1	23824,8	94,1306
2	23824,5	406,582
3	23824,8	88,2845
4	23825	369,931
5	23825	326,927
6	23824,7	96,0156
7	23824,8	83,2824
8	23824,6	175,118
9	23824,7	3,87282
10	23824	1061,23
11	23824,9	165,229
12	23824,5	383,133
13	23825,3	850,628
14	23824,7	92,9401
15	23824,7	9,67593
16	23824,7	80,4908
17	23824,7	118,85
18	23825,3	801,475
19	23824,7	13,2296
20	23824,7	35,0018

Loop ke	t	Fitness
21	23824,7	43,9391
22	23824,8	64,9665
23	23824,5	320,471
24	23824,7	84,5061
25	23825	333,343
26	23824,9	184,452
27	23824,8	31,6757
28	23824,7	7,92915
29	23824,7	7,35369
30	23824,8	8,96921
31	23824,7	52,4045
32	23824,7	86,293
33	23824,7	0,84503
34	23824,7	125,15
35	23825	395,234
36	23824,3	623,684
37	23824,8	86,9371
38	23824,7	61,4379
39	23824,7	51,0071
40	23824,7	15,9329

Tabel 4.24. Hasil Simulasi *Fitness* Mencari t_{max} (Lanjutan)

Loop ke	t	Fitness
41	23824,7	134,961
42	23824,8	20,5072
43	23824,3	676,827
44	23824,8	153,532
45	23825,7	1419,42
46	23824,7	12,6361
47	23824,8	97,6768
48	23824,9	248,054
49	23825	312,857
50	23824,8	122,855
51	23825,4	981,986
52	23824,8	52,7124
53	23824,5	356,285
54	23824,4	441,568
55	23824,7	76,6175
56	23824,2	759,125
57	23825,2	657,97
58	23824,8	116,788
59	23824,9	168,117
60	23825,5	1088,75

Loop ke	t	Fitness
61	23824,9	231,009
62	23825	363,758
63	23824,8	49,666
64	23824,8	66,5675
65	23824,7	52,1668
66	23825,6	1270,28
67	23824,7	3,06703
68	23824,8	15,6375
69	23824,5	346,958
70	23824,7	17,295
71	23825	345,306
72	23824,6	213,281
73	23824,7	105,528
74	23824,6	167,826
75	23824,6	193,66
76	23825	369,645
77	23824,7	61,5202
78	23824,7	36,1453
79	23825	329,528
80	23824,6	211,484

Tabel 4.24. Hasil Simulasi *Fitness* Mencari t_{\max} (Lanjutan)

Loop ke	t	Fitness
81	23824,8	79,366
82	23824,7	88,1062
83	23825	375,051
84	23824,7	77,1415
85	23824,8	74,8093
86	23824,9	204,339
87	23825	434,323
88	23824,8	110,549
89	23824,5	326,419
90	23824,8	9,282
91	23824,6	156,125
92	23824,8	9,15078
93	23824,7	55,2662
94	23824,8	108,263
95	23824,7	55,8363
96	23824,7	16,8251
97	23824,8	37,147
98	23825,1	527,012
99	23824,8	154,289
100	23824,9	169,994

Hasil simulasi diperoleh nilai *fitness* terkecil adalah 23824,73 dengan $t : 0,84$. Pembulatan t_{\min} dilakukan dengan cara yang sama seperti langkah untuk mencapai top, sehingga dapat ditulis sebagai berikut :

$$|V(23824)|= 37534,20$$

$$|V(23825)|= 39026,52$$

Oleh karena nilai abs V'' pada saat $t : 23824 <$ daripada nilai pada $t : 23825$, maka $t_{\min} : 23824$ dipilih sebagai t_{\min} .

4.12.2. Optimasi minimasi fungsi *total cost*

Proses looping sebanyak 100 kali, diperoleh nilai *fitness* dan *t* sebagai berikut :

Tabel 4.25. Hasil Simulasi Fitness Fungsi Kc” dengan GA

Loop ke-	t	Fitness	Loop ke-	t	Fitness
1	17636,8	13060933	21	17634,7	13060934
2	17699,4	13060984	22	17639,7	13060932
3	17638,7	13060933	23	17673,2	13060946
4	17766,1	13061191	24	17636,9	13060933
5	17648,8	13060932	25	17492,2	13061358
6	17836,8	13061582	26	17657,2	13060934
7	17659,8	13060935	27	17653,1	13060933
8	17695,2	13060976	28	17547,1	13061107
9	17681,5	13060955	29	17659,9	13060936
10	17634,5	13060934	30	17863,6	13061776
11	17713,5	13061014	31	17669,9	13060942
12	17680,5	13060954	32	17667,9	13060941
13	17625,6	13060939	33	17523,5	13061201
14	17662,5	13060937	34	17611,7	13060952
15	17640,3	13060932	35	17653,2	13060933
16	17365,3	13062366	36	17606,8	13060959
17	17701,9	13060989	37	17663,2	13060937
18	17579,4	13061011	38	17672,2	13060945
19	17527,1	13061185	39	17657,1	13060934
20	17607,6	13060958	40	17625,1	13060939

Tabel 4.25. Hasil Simulasi Fitness Fungsi Kc'' dengan GA (Lanjutan)

Loop ke-	t	Fitness
41	17219,3	13064278
42	17610,4	13060954
43	17577,8	13061015
44	17617,4	13060946
45	17688,6	13060965
46	17556	13061077
47	17632	13060935
48	17883,5	13061936
49	17628,4	13060937
50	17623,4	13060941
51	17647	13060932
52	17622,2	13060942
53	17668	13060941
54	17604,1	13060963
55	17664,7	13060938
56	17611,1	13060953
57	17644	13060932
58	17193,2	13064706
59	17676,9	13060949
60	17722,1	13061037

Loop ke-	t	Fitness
61	17708,4	13061003
62	17598,5	13060972
63	17606,6	13060959
64	17610,8	13060954
65	17641,1	13060932
66	17646,2	13060932
67	17643,5	13060932
68	17754,4	13061143
69	17926,6	13062329
70	17542,9	13061122
71	17486,2	13061392
72	17435,9	13061731
73	17534,9	13061153
74	17659,8	13060935
75	17574,2	13061024
76	17584	13061000
77	17645	13060932
78	17735,8	13061077
79	17694,7	13060975
80	17634,1	13060934

Tabel 4.25. Hasil Simulasi Fitness Fungsi Kc'' dengan GA (Lanjutan)

Loop ke-	t	Fitness
81	17646,7	13060932
82	17648,6	13060932
83	17735,9	13061078
84	17720,8	13061033
85	17730,8	13061062
86	17682,5	13060956
87	17700,9	13060987
88	17692,6	13060972
89	17638,4	13060933
90	17661,6	13060936
91	17752,9	13061138
92	17644	13060932
93	17689,8	13060967
94	17678	13060951
95	17736,8	13061081
96	17642,2	13060932
97	17633,4	13060934
98	17648,8	13060932
99	17587,8	13060992
100	17475,3	13061458

Dari 100 kali looping diperoleh *fitness* terendah adalah 13060931,81 dengan input $t = 17644,99$.

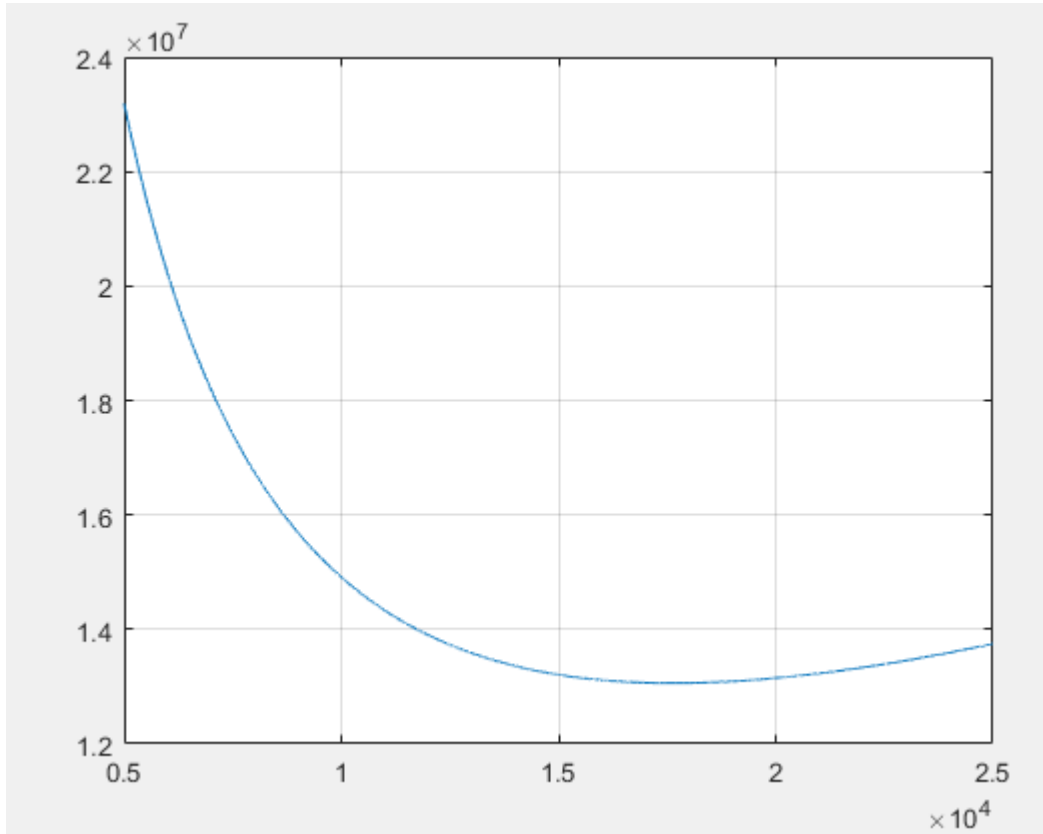
Pembulatan t dilakukan dengan cara yang sama seperti langkah di atas, sehingga dapat ditulis sebagai berikut :

$$Kc''(17644) = 13060931,85$$

$$Kc''(17645) = 13060931,81$$

Oleh karena $abs Kc''$ pada saat $t : 17645 <$ daripada nilai $t : 17644$, maka $t : 17645$ dipilih sebagai t optimal dan dinotasikan sebagai t_{op}

Plotting grafik Kc'' dapat digambarkan pada gambar 4.32.



Gambar 4.36. Grafik Kc'' Berdasarkan Waktu

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

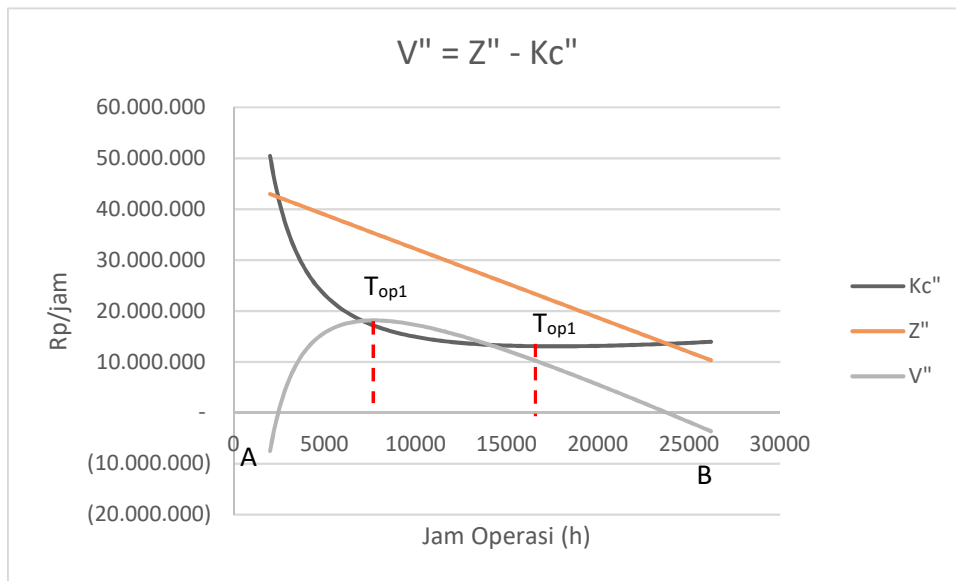
5.1. Kesimpulan

Berdasarkan tahap-tahap yang sudah dilaksanakan dalam penelitian, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Metode interval overhaul yang memperhitungkan resiko, *human error* dan profit berhasil dilakukan dengan melaksanakan langkah seperti dalam penelitian ini. Pengukuran *reliability plant* menjadi sangat penting dalam menentukan interval optimal pada overhaul berikutnya. Dalam rangka mendapatkan pengukuran *reliability* yang efektif dan efisien, dapat ditempuh metode seleksi *equipment* dengan menggunakan *criticality risk matrix* dan eliminasi *equipment* yang *redundant*. Hasil metode seleksi tersebut adalah :
 - Mampu mereduksi jumlah *equipment* yang menjadi obyek pengukuran, dari 210 menjadi 51 *equipment* dengan cara mengeliminasi *equipment* yang mempunyai katagori risiko rendah.
 - *Equipment* yang mempunyai katagori risiko medium , tinggi dan ekstrem sejumlah 51 , direduksi kembali dengan mengeliminasi 21 *equipment* yang bersifat *redundant* dan dapat dilaksanakan overhaul pada saat kondisi *plant* beroperasi, sehingga jumlah *equipment* terakhir yang menjadi fokus pengukuran *reliability* menjadi 30 *equipment*.
2. Persamaan *reliability plant* yang diperoleh dari pengukuran, dapat dipergunakan untuk menghitung *Economic Consequences of Production Loss* (ECPL). ECPL merupakan salah satu komponen dari *Total Economic Consequence of Failure* (ECT). Komponen ECT yang lain dapat dihitung pula dengan data standar *reliability* yang dapat diperoleh dari referensi terpercaya.

3. Persamaan reliability plant perlu dikombinasikan dengan faktor *Human Error Probability* (1-HEP), dimana nilainya diperoleh dengan menggunakan metode *Succes Likelihood Index Methode* (SLIM), sehingga diperoleh persamaan reliability system gabungan. Persamaan reliability gabungan adalah pada persamaan 67.
4. Persamaan risiko per satuan waktu (RISKe'') dapat diformulasikan dengan perkalian antara persamaan *unreliability* gabungan, dengan persamaan ECT.
5. Sesudah persamaan risiko diperoleh, maka diperlukan penghitungan persamaan total *maintenance cost* (Kc''), dengan memerlukan data pemeliharaan. Penjumlahan RISKe'' dan Kc'' menghasilkan persamaan *Total Cost* (Kc''). Kc'' akan dipergunakan dalam melakukan optimasi interval.
6. Pendapatan perusahaan diperoleh dengan melakukan penjualan energi listrik, dimana besar pendapatan netto dipengaruhi oleh *Nett Plant Heat Rate* (NPHR). Kenaikan NPHR akan menyebabkan naiknya biaya bahan bakar pada produksi energi yang konstan. NPHR mengalami kenaikan diantaranya disebabkan faktor yang dipengaruhi waktu seperti pengotoran boiler dan condenser, sehingga trending NPHR dan pendapatan *netto* (Z'') dapat diformulasikan pada persamaan 99.
7. Persamaan profit (V'') dapat disusun dengan cara mengurangi Z'' dengan persamaan Kc''.
8. Gambar 5.1. Grafik Hubungan V'', Z'' dan Kc'' menerangkan kondisi operasional *plant*. Pendapatan netto (Z'') secara alami mengalami penurunan karena naiknya NPHR. Pada $t = 2.449$ (titik A), nilai V'' mengalami transisi dari negatif ke positif, yang diartikan bahwa operasional *plant* sudah mulai menghasilkan profit pada titik tersebut. Optimasi maksimasi terhadap persamaan V'' akan menghasilkan t (jam) dimana *plant* akan menghasilkan profit paling maksimal, dimana dalam penelitian ini adalah pada $t_{op1} = 7.698$ jam. Setelah melalui titik t_{op1} , akan terjadi penurunan profit per satuan waktu. Pemilihan interval overhaul disarankan paling pendek adalah pada titik t_{op1} (7.698 jam). Optimasi terhadap

persamaan Kc'' akan menghasilkan t (jam) dimana plant akan menghasilkan *total cost* yang paling minimal, yaitu pada $t_{op2} = 17.645$ jam. Apabila oleh sebab suatu hal perusahaan tidak dapat melaksanakan overhaul pada interval acuan titik t_{op1} , maka disarankan tidak melebihi titik t_{op2} supaya tidak terjadi kenaikan Total Cost. Pada $t = 23.824$ (titik B), nilai V'' mengalami transisi dari positif ke negatif, yang diartikan bahwa operasional *plant* sudah mulai dalam kondisi rugi.



Gambar 5.1. Grafik Hubungan V'' , Z'' dan Kc''

5.2. Saran

1. Metode dalam penelitian ini dapat dipergunakan pada *plant* sejenis (PLTU) untuk proses optimasi dalam rangka mendapatkan interval overhaul yang optimal dengan mempertimbangkan risiko, *human error* dan profit. Hasil dapat berbeda, tergantung dari hasil pengukuran *reliability* dan trending NPHR.
2. Penerapan metode ini pada optimasi interval untuk *plant* pembangkit listrik jenis yang lain, perlu disesuaikan dengan penambahan faktor lain dalam penghitungan ECT yang disesuaikan dengan karakter khas jenis pembangkit tersebut.

3. Standar interval yang sudah dipergunakan perusahaan yaitu 8.000 jam masih dalam range t antara titik t_{op1} dan t_{op2} . Apabila diperlukan dengan alasan tertentu, diantaranya adalah efisiensi biaya, maka interval dapat diperpanjang maksimal sampai titik t_{op2} atau 17.645 jam. Hal tersebut dengan catatan bahwa dilakukan overhaul pada *equipment* yang dapat dilaksanakan tanpa plant *shutdown* dan tidak terdapat kondisi kerusakan khusus pada suatu *equipment* yang bersifat major.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Cigre (2013), *Guide for Transformer Fire Safety Practices*, Cigre
- Chan, A (2004), “ Key performance indicators for measuring construction success benchmarking”, *An International Journal*, Vol 11, pp 203-21
- Dhillon,B.S (1995), “Probabilistic analsis of maintainable system with human error”, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol 1 Issues 2, pp 50-50
- Dhillon,B.S dan Liu, Y (2006), “Human error in maintenance: a review”, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol 12 Issue 1, pp 21-36
- Duffua,M.A dan Daya, B (2004), “Turnaround Maintenance in Petrocheical Industry : Practices and Suggested Improvement”, *Journal of Quality in Maintennce Engineering*, Vol. 10 pp 184-190
- Defersha, F.M dan Chen, M (2010), ”A parallel genetic algorithm for a flexible job shop schedulling problem with sequence dependent setups”, *Int J Adv Manuf Technol*, 49:263-279
- Fujiyama, K dan Nagai, S (2004), “ Risk-based inspection and maintenance systems for steam turbines”, *International Journal of Pressure Vessel and Piping*, 825-835
- Gosh, D dan Roy, S (2009), “Maintenance optimization using probabilistic cost benefit analysis”, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 22 403-407
- IMIA-WGP 42 (05), “Maintenance and Overhaul of Steam Turbine”, *International Association of Engineering Insures 38th Annual Conference-Mosco*
- Hameed, A (2014), “A framework to estimate the risk-based shutdown interval for a processing plant”, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, pp 18-29
- Hameed, A (2015), “ A Risk-based Shutdown Inspection and maintenance Interval Consedering Human Error”, *Process Safety and Environment Protection*
- Haupt,R.L dan Haupt S.E (2004), “Practical Genetic Algorithms”, *2nd edition A John Wiley & Sons, Inc Publication*
- Kelly Services (2017), *Salary Guide 2017*, Kelly Services
- LDA (2015), *Life Data Analysis*, Reliasoft Publishing

METI (2017), “ Enforcement Regulation of the Electricity Utilities Industry law on Thermal Facilities”, Japan Government

LAMPIRAN 1. Failure Probability Equipment

No	Description RBD	F (probabili	No	Description RBD	F (probabili
1	GENERATOR EXITATION #1	1	24	GOVERNOOR VALVE	0,4557
2	CIRCULATING WATER PUMP #1B	0,7374	25	BOTTOM ASH SILO #1 - CHAIN ELEVAT	1
3	CIRCULATING WATER PUMP #1A	0,845	26	DEBRIS FILTER #1B	0,3554
4	INDUCED DRAFT FAN #1B	0,876	27	CONDENSATE PUMP #1A	0,4676
5	GENERATOR #1	0,5096	28	BOILER FEEDWATER PUMP #1A	0,3646
6	AIR PREHEATER #1A	0,5119	29	PRIMARY AIR FAN #1A	0,3483
7	AIR PREHEATER #1B	0,5782	30	PRIMARY AIR FAN #1B	0,1186
8	COAL FEEDER #1C	0,9842	31	FORCED DRAFT FAN #1B	0,2876
9	COAL FEEDER #1A	0,9491	32	COAL PULVERIZER #1F	0,8957
10	DEBRIS FILTER #1A	0,4559	33	FORCED DRAFT FAN #1A	0,2855
11	TRAVELLING SCREEN #1A	0,5966	34	COAL FEEDER #1E	0,839
12	TRAVELLING SCREEN #1B	0,3574	35	COAL FEEDER #1F	0,8946
13	COAL FEEDER #1B	0,8821	36	CONDENSOR #1 A	0,5554
14	INDUCED DRAFT FAN #1A	0,907	37	COAL FEEDER #1D	0,6571
15	BOILER	0,2542	38	CONDENSOR #1 B	0,4609
16	COAL PULVERIZER #1A	0,9987	39	EH OIL PUMP A	0,9322
17	COAL PULVERIZER #1B	0,9005	40	EH OIL PUMP b	0,6909
18	COAL PULVERIZER #1C	0,9553	41	ELECTROSTATIC PRECIPITATOR #1A	0,2911
19	COAL PULVERIZER #1D	0,94	42	ELECTROSTATIC PRECIPITATOR #1B	0,2335
20	COAL PULVERIZER #1E	0,9347	43	HP HEATER 6 #1	0,4147
21	VACUUM PUMP #1B	0,6891	44	NSTRUMENT CONTROL & DCS #1	0,2556
22	STATOR COOLER PUMP #1B	0,1728	45	REHEAT STEAM VALVE #1A	0,412
23	VACUUM PUMP #1A	0,6891	46	Lain - lain	0,1

LAMPIRAN 2. DATA DOWNTIME PERALATAN (SAMPLE)

No	Discription	Act. Start	Act. Finish	REPAIR TIME	TBF	AKUM ULATIF TBF
1	Start	31/12/2010 00.00				
2	Boiler #1 : Outlet Feeder 1A tiba-tiba menutup sendiri	14/09/2011 10.20	14/09/2011 16.09	6	6178	6178
3	Unit #1: Coal feeder belt #1A tidak tepat ditengah (bergeser)	14/10/2011 09.54	14/10/2011 15.25	6	714	6892
4	Boiler #1 : Kalibrasi coal feeder #1A coal flow	04/01/2012 08.45	04/01/2012 13.45	5	1961	8853
5	pembersihan: Boiler #1: Indikasi plugging di outlet feeder mill A	14/02/2012 09.52	15/02/2012 20.52	35	980	9834
6	cleaning Boiler #1: Plugging di inlet feeder A	08/03/2012 09.25	08/03/2012 11.14	2	517	10350
7	Coal feeder #1A : belt feeder tidak center	28/03/2012 15.11	28/03/2012 17.01	2	484	10834
8	Boiler #1: Abnormal sound di motor feeder A	19/02/2013 13.40	19/02/2013 15.30	2	7869	18703
9	Feeder #1A, sering trip tanpa indikasi	24/12/2013 09.21	24/12/2013 15.21	6	7386	26089
10	Coal Feeder #1A flow error	24/02/2014 08.00	24/02/2014 14.00	6	1481	27569
11	Boiler #1 : Coal Feeder 1A error	25/02/2014 08.21	25/02/2014 13.21	5	18	27588
12	Motor feeder #1A vibrasi tinggi	30/06/2014 11.55	30/06/2014 11.55	0	2999	30586
13	Boiler #1 : Damper inlet coal feeder 1A tidak bisa close	22/03/2016 09.00	22/03/2016 15.00	6	15141	45727
14	Boiler #1 flow coal feeder 1A hunting	07/11/2016 08.44	07/11/2016 14.48	6	5514	51241
15	Boiler #1: Belt feeder 1A rantas/terkelupas	11/11/2016 09.11	14/11/2016 09.00	72	90	51331
16	Unit 1 : Belt conveyor coal feeder 1A rusak	18/11/2016 08.00	18/11/2016 12.34	5	95	51426
17	Boiler #1 Motor sweeper (cleaner) coal feeder 1A tidak bisa start auto ataupun manual	28/04/2017 09.00	28/04/2017 15.00	6	3860	55287
18	Boiler #1 Motor sweeper (cleaner) coal feeder 1A tidak bisa start auto ataupun manual	25/05/2017 09.00	25/05/2017 15.00	6	642	55929
19	boiler #1 Flow baktubara coal feeder 1A hunting (11 t/h - 59t/h)	06/08/2017 10.24	07/08/2017 16.19	30	1747	57676
20	Boiler #1 MOV Inlet Feeder 1A tidak bisa open close dari CCR ; dari Lokal Berat	25/08/2017 11.45	25/08/2017 20.45	9	427	58104
21	Boiler#1 : Plugging outlet feeder 1A	09/01/2018 19.32	16/01/2018 14.04	163	3287	61390

Mill E						
No	Discription	Act. Start	Act. Finish	REPAIR TIME	TBF	AKUM ULATIF TBF
1	Start	31/12/2010 00.00		391	3698	3698
2	Perbaikan mill E	03/06/2011 01.56	19/06/2011 08.58	24	1945	5643
3	identifikasi dan perbaikan kebocoran batubara dari aktuator sebelah timur mill F	08/09/2011 09.43	09/09/2011 09.43	10	120	5763
4	Boiler #1 : kebocoran batubara di mill 1 E	14/09/2011 10.09	14/09/2011 20.09	24	3663	9426
5	Boiler #1 : Mill 1E valve innerting steam leak through	14/02/2012 10.46	15/02/2012 10.46	24	7693	17119
6	Perbaikan expansion joint mill E	01/01/2013 00.00	02/01/2013 00.00	12	2112	19231
7	Plugging mill	31/03/2013 00.00	31/03/2013 12.00	39	652	19883
8	Boiler #1 : Kebocoran oli dari silinder aktuator mill E	27/04/2013 16.21	29/04/2013 07.46	8	408	20292
9	Boiler#1 : valve steam innerting mill 1E tidak bisa nutup.	16/05/2013 08.00	16/05/2013 16.00	29	2009	22301
10	Mill #1E, kebocoran batu bara di inlet mill	08/08/2013 09.00	09/08/2013 14.16	2	4823	27124
11	Plugging mill	26/02/2014 13.31	26/02/2014 15.01	46	137	27261
12	Plugging mill	04/03/2014 08.30	06/03/2014 06.07	4	2354	29616
13	Boiler #1 : Mill 1E kebocoran oli pada aktuator sisi barat	12/06/2014 08.23	12/06/2014 12.23	8	4148	33763
14	Boiler #1, Motor Mill 1E muncul alarm device fault	02/12/2014 08.00	02/12/2014 16.00	59	4616	38379
15	Plugging mill	12/06/2015 23.45	15/06/2015 10.28	1	129	38508
16	Plugging mill	20/06/2015 19.40	20/06/2015 20.30	24	2467	40975
17	Boiler #1 : Amper motor mill 1E tinggi	01/10/2015 15.21	02/10/2015 15.21	69	2092	43067
18	Perbaikan mill	28/12/2015 19.35	31/12/2015 16.05	5	97	43164
19	Plugging mill	04/01/2016 17.04	04/01/2016 22.30	21	1072	44236
20	Gangguan pada lube oil system	18/02/2016 14.26	19/02/2016 11.20	27	11493	55729
21	Kebocoran batu bara pada line innerting antara mill 1E dan 1A	12/06/2017 08.31	13/06/2017 11.27	162	2091	57821

LAMPIRAN 3. DAMPAK EQUIPMENT FAILURE TERHADAP PLANT

Lampiran 3. Perhitungan Oportunity Losses

1 ID Fan		
Jumlah jam rata rata perbaikan	53	h
Kapasitas derating	0,5	Beban
CP	0,88	
BPP	661,3	Rp/kWh
Loses produksi	5.089.100.280	Rp
Setara downtime	1,104166667	hari
2 GV		
Jumlah jam rata rata perbaikan	89,92	h
Kapasitas derating	0,25	Beban
CP	0,88	
BPP	661,3	Rp/kWh
Loses produksi	4.317.093.370	Rp
Setara downtime	0,936666667	hari
3 IP Turbine		
Jumlah jam rata rata perbaikan	12	h
Kapasitas derating	0,5	Beban
CP	0,88	
BPP	661,3	Rp/kWh
Loses produksi	1.152.249.120	Rp
Setara downtime	0,25	hari
4 LP Turbine		
Jumlah jam rata rata perbaikan	8	h
Kapasitas derating	0,25	Beban
CP	0,88	
BPP	661,3	Rp/kWh
Loses produksi	384.083.040	Rp
Setara downtime	0,083333333	hari
	2	jam
5 Bearing turbin		
Jumlah jam rata rata perbaikan	5	h

	Kapasitas derating	0,5	Beban
	CP	0,88	
	BPP	661,3	Rp/kWh
	Loses produksi	480.103.800	Rp
	Setara downtime	0,104166667	hari
		2,5	jam
6	Air pre heater		
	Jumlah jam rata rata perbaikan	1043	h
	Kapasitas derating	0,5	Beban
	CP	0,88	
	BPP	661,3	Rp/kWh
	Loses produksi	100.149.652.680	Rp
	Setara downtime	21,729166667	hari
		521,5	jam
7	Boiler		
	Jumlah jam rata rata perbaikan	516	h
	Kapasitas derating	1	Beban
	CP	0,88	
	BPP	661,3	Rp/kWh
	Loses produksi	99.093.424.320	Rp
	Setara downtime	21,5	hari
		516	jam
8	Mill		
	Jumlah jam rata rata perbaikan	74	h
	Kapasitas derating	0,2	Beban
	CP	0,88	
	BPP	661,3	Rp/kWh
	Loses produksi	2.842.214.496	Rp
	Setara downtime	0,616666667	hari
		14,8	jam
9	HP turbin		
	Jumlah jam rata rata perbaikan	13	h
	Kapasitas derating	0,5	Beban
	CP	0,88	
	BPP	661,3	Rp/kWh

	Loses produksi	1.248.269.880	Rp
	Setara downtime	0,270833333	hari
		6,5	jam
10	Feeder		
	Jumlah jam rata rata perbaikan	90	h
	Kapasitas derating	0,2	Beban
	CP	0,88	
	BPP	661,3	Rp/kWh
	Loses produksi	3.456.747.360	Rp
	Setara downtime	0,75	hari
		18	jam
11	Condenser		
	Jumlah jam rata rata perbaikan	13	h
	Kapasitas derating	0,5	Beban
	CP	0,88	
	BPP	661,3	Rp/kWh
	Loses produksi	1.248.269.880	Rp
	Setara downtime	0,270833333	hari
		6,5	jam
12	Debris		
	Jumlah jam rata rata perbaikan	203	h
	Kapasitas derating	0,5	Beban
	CP	0,88	
	BPP	661,3	Rp/kWh
	Loses produksi	19.492.214.280	Rp
	Setara downtime	4,229166667	hari
		101,5	jam
13	Travelling screen		
	Jumlah jam rata rata perbaikan	71	h
	Kapasitas derating	0,5	Beban
	CP	0,88	
	BPP	661,3	Rp/kWh
	Loses produksi	6.817.473.960	Rp
	Setara downtime	1,479166667	hari
		35,5	jam

14	Primary air fan			
	Jumlah jam rata rata perbaikan	93,3	h	
	Kapasitas derating	0,5	Beban	
	CP	0,88		
	BPP	661,3	Rp/kWh	
	Loses produksi	8.958.736.908	Rp	
	Setara downtime	1,94375	hari	
		46,65	jam	
15	Force draft fan			
	Jumlah jam rata rata perbaikan	165	h	
	Kapasitas derating	0,5	Beban	
	CP	0,88		
	BPP	661,3	Rp/kWh	
	Loses produksi	15.843.425.400	Rp	
	Setara downtime	3,4375	hari	
		82,5	jam	
16	Force draft fan			
	Jumlah jam rata rata perbaikan	10	h	
	Kapasitas derating	0,2	Beban	
	CP	0,88		
	BPP	661,3	Rp/kWh	
	Loses produksi	384.083.040	Rp	
	Setara downtime	0,083333333	hari	
		2	jam	
17	BFP			
	Jumlah jam rata rata perbaikan	46	h	
	Kapasitas derating	0,5	Beban	
	CP	0,88		
	BPP	661,3	Rp/kWh	
	Loses produksi	4.416.954.960	Rp	
	Setara downtime	0,958333333	hari	
		23	jam	
18	EH oil pump			
	Jumlah jam rata rata perbaikan	14	h	
	Kapasitas derating	0,25	Beban	

	CP		0,88	
	BPP		661,3	Rp/kWh
	Loses produksi	672.145.320		Rp
	Setara downtime	0,145833333		hari
			3,5	jam
19	DCS			
	Jumlah jam rata rata perbaikan		10	h
	Kapasitas derating		0,3	Beban
	CP		0,88	
	BPP		661,3	Rp/kWh
	Loses produksi	576.124.560		Rp
	Setara downtime		0,125	hari
			3	jam
20	Generator excitation			
	Jumlah jam rata rata perbaikan		94,22	h
	Kapasitas derating		0,3	Beban
	CP		0,88	
	BPP		661,3	Rp/kWh
	Loses produksi	5.428.245.604		Rp
	Setara downtime		1,17775	hari
			28,266	jam
21	CWP 1A			
	Jumlah jam rata rata perbaikan		167,1	h
	Kapasitas derating		0,3	Beban
	CP		0,88	
	BPP		661,3	Rp/kWh
	Loses produksi	9.627.041.398		Rp
	Setara downtime		2,08875	hari
			50,13	jam

LAMPIRAN 4

KATAGORI RESIKO DARI EQUIPMENT

No	Description RBD	F (probabilitas)	Nilai Probabilitas	Nilai Dampak	PxD	Risiko
116	GENERATOR EXITATION #1	1,0000	5	4	20	Tinggi
193	CIRCULATING WATER PUMP #1E	0,7374	4	4	16	Tinggi
192	CIRCULATING WATER PUMP #1	0,8450	4	4	16	Tinggi
77	INDUCED DRAFT FAN #1B	0,8760	4	4	16	Ekstrem
115	GENERATOR #1	0,5096	3	5	15	Ekstrem
67	AIR PREHEATER #1A	0,5119	3	5	15	Ekstrem
68	AIR PREHEATER #1B	0,5782	3	5	15	Ekstrem
9	COAL FEEDER #1C	0,9842	5	3	15	Tinggi
7	COAL FEEDER #1A	0,9491	5	3	15	Tinggi
194	DEBRIS FILTER #1A	0,4559	3	4	12	Tinggi
190	TRAVELLING SCREEN #1A	0,5966	3	4	12	Tinggi
191	TRAVELLING SCREEN #1B	0,3574	3	4	12	Tinggi
8	COAL FEEDER #1B	0,8821	4	3	12	Tinggi
111	BATTERY SYSTEM #1	dibawah 0	1	2	2	Rendah
76	INDUCED DRAFT FAN #1A	0,9070	5	4	20	Moderat
208	BOILER	0,2542	2	5	10	Ekstrem
13	COAL PULVERIZER #1A	0,9987	5	3	15	Tinggi
14	COAL PULVERIZER #1B	0,9005	5	3	15	Tinggi
15	COAL PULVERIZER #1C	0,9553	5	3	15	Tinggi
16	COAL PULVERIZER #1D	0,9400	5	3	15	Tinggi
17	COAL PULVERIZER #1E	0,9347	5	3	15	Tinggi
140	BEARING TURBINE #1	dibawah 0	1	2	2	Rendah
211	GOVERNOOR VALVE	0,4557	3	3	9	Tinggi
91	BOTTOM ASH SILO #1 - CHAIN	1,0000	5	2	10	Moderat
195	DEBRIS FILTER #1B	0,3554	3	4	12	Tinggi
167	CONDENSATE PUMP #1A	0,4676	3	3	9	Tinggi
179	BOILER FEEDWATER PUMP #1A	0,3646	3	3	9	Tinggi
61	PRIMARY AIR FAN #1A	0,3483	2	4	8	Tinggi
62	PRIMARY AIR FAN #1B	0,1186	2	4	8	Tinggi
66	FORCED DRAFT FAN #1B	0,2876	2	4	8	Tinggi

No	Descrption RBD	F (probability)	Nilai Probabilit y	Nilai Dampak	PxD	Risiko
65	FORCED DRAFT FAN #1A	0,2855	2	4	8	Tinggi
11	COAL FEEDER #1E	0,8390	4	3	12	Tinggi
12	COAL FEEDER #1F	0,8946	4	3	12	Tinggi
164	CONDENSOR #1 A	0,5554	3	2	6	Moderat
10	COAL FEEDER #1D	0,6571	3	3	9	Moderat
	CONDENSOR #1 B	0,4609	3	2	6	Moderat
209	EH OIL PUMP A	0,9322	5	2	10	Moderat
210	EH OIL PUMP b	0,6909	3	2	6	Moderat
74	ELECTROSTATIC PRECIPITATOR #1A	0,2911	2	2	4	Rendah
75	ELECTROSTATIC PRECIPITATOR #1B	0,2335	2	2	4	Rendah
105	MAIN TRANSFORMER #1	dibawah 0,1	1	5	5	Ekstrem
136	IP TURBIN #1	dibawah 0,1	1	5	5	Ekstrem
139	LP TURBINE #1	dibawah 0,1	1	5	5	Ekstrem
133	HP TURBINE #1	dibawah 0,1	1	5	5	Ekstrem
114	AUXILARY TRANSFORMER #1	dibawah 0,1	1	5	5	Ekstrem
107	EMERGENCY PC UNIT #1	dibawah 0,1	1	2	2	Rendah
207	FIRE PROTECTION #1 SYSTEM	dibawah 0,1	1	2	2	Rendah
183	HP HEATER 6 #1	0,4147	3	1	3	Rendah
180	BOILER FEEDWATER PUMP #1B	dibawah 0,1	1	3	3	Moderat
181	BOILER FEEDWATER PUMP #1C	dibawah 0,1	1	3	3	Moderat
117	GENERATOR PROTECTION #1	dibawah 0,1	1	2	2	Rendah
161	HP BYPASS #1	dibawah 0,1	1	2	2	Rendah
113	INSTRUMENT CONTROL & DCS #	0,2556	2	2	4	Rendah
162	LP BYPASS #1	dibawah 0,1	1	2	2	Rendah
108	MCC UNIT #1	dibawah 0,1	1	2	2	Rendah
109	MEDIUM VOLTAGE TRANSFORM	dibawah 0,1	1	2	2	Rendah
137	REHEAT STEAM VALVE #1A	0,4120	3	2	6	Moderat
138	REHEAT STEAM VALVE #1B	dibawah 0,1	1	2	2	Rendah
112	TURBINE SUPERVISORY INSTRUM	dibawah 0,1	1	2	2	Rendah
110	UPS DC STATION #1	dibawah 0,1	1	2	2	Rendah
165	VACUUM PUMP #1A	0,6891	3	2	6	Moderat
166	VACUUM PUMP #1B	0,6891	3	2	6	Moderat

No	Description RBD	F (probability)	Nilai Probabilitas	Nilai Dampak	PxD	Risiko
203	COOLING WATER HEAT EXCHAN	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
204	COOLING WATER HEAT EXCHAN	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
141	JACKING OIL PUMP #1A	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
142	JACKING OIL PUMP #1B	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
149	AC LUBE OIL PUMP #1	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
178	DEARATOR #1	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
150	DC LUBE OIL PUMP #1	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
151	MAIN LUBE OIL PUMP #1	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
160	TURNING GEAR #1	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
188	BAR SCREEN #1A	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
189	BAR SCREEN #1B	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
119	MAIN SEAL OIL PUMP #1	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
120	AC SEAL OIL PUMP #1	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
163	DEH line #1	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
122	VACUUM SEAL OIL PUMP #1	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
63	PRIMARY COLD AIR DUCT #1	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
99	FLAME SCANNER COOLING AIR	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
129	STATOR COOLER PUMP #1B	0,1728	1	1	1	Rendah
144	GLAND STEAM CONDENSOR FA	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
145	GLAND STEAM CONDENSOR FA	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
168	CONDENSATE PUMP #1B	dibawah 0,1	1	3	3	Moderat
64	SECONDARY COLD AIR DUCT #1	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
89	BOTTOM ASH SILO #1 - BOTTON	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
100	FLAME SCANNER COOLING AIR	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
128	STATOR COOLER PUMP #1A	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
152	EXHAUST FAN A LUBE OIL PUMF	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
153	EXHAUST FAN B LUBE OIL PUMF	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
184	HP HEATER 7 #1	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
1	COAL BUNKER #1A	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
2	COAL BUNKER #1B	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
3	COAL BUNKER #1C	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
4	COAL BUNKER #1D	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
5	COAL BUNKER #1E	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
6	COAL BUNKER #1F	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
19	COAL BURNER #1 A1	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah

No	Descrption RBD	F (probability)	Nilai Probabilitas	Nilai Dampak	PxD	Risiko
20	COAL BURNER #1 A2	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
21	COAL BURNER #1 A3	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
22	COAL BURNER #1 A4	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
23	COAL BURNER #1 B1	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
24	COAL BURNER #1 B2	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
25	COAL BURNER #1 B3	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
26	COAL BURNER #1 B4	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
27	COAL BURNER #1 C1	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
28	COAL BURNER #1 C2	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
29	COAL BURNER #1 C3	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
30	COAL BURNER #1 C4	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
31	COAL BURNER #1 D1	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
32	COAL BURNER #1 D2	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
33	COAL BURNER #1 D3	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
34	COAL BURNER #1 D4	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
35	COAL BURNER #1 E1	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
36	COAL BURNER #1 E2	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
37	COAL BURNER #1 E3	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
38	COAL BURNER #1 E4	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
39	COAL BURNER #1 F1	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
40	COAL BURNER #1 F2	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
41	COAL BURNER #1 F3	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
42	COAL BURNER #1 F4	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
43	PULVERIZER SEALING AIR FAN #1	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
44	PULVERIZER SEALING AIR FAN #1D	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
46	ECONOMIZER VENTING #1	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
48	STEAM DRUM #1	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
49	STEAM DRUM DRAIN & VENTING #1	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
50	BOILER CIRCULATION (DOWNCOMER)	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
51	DOWNCOMER DRAINAGE #1	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
53	SUPERHEATER DRAIN & VENTING #1	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
55	REHEATER VENTING #1	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
56	SOOTBLOWING PIPING #1	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
57	SOOTBLOWING DRAIN #1	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
58	IR SOOTBLOWER #1	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah

No	Description RBD	F (probability)	Nilai Probabilitas	Nilai Dampak	PxD	Risiko
59	IK SOOTBLOWER #1	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
60	IK-AH SOOTBLOWER #1	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
69	PRIMARY HOT AIR #1A	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
70	PRIMARY HOT AIR #1B	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
71	SECONDARY HOT AIR #1A	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
72	SECONDARY HOT AIR #1B	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
73	FLUE GAS EXHAUST DUCTING #1	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
78	AIR HEATER AERATION BLOWER	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
79	ESP HOPPER #1 - AERATION BLO	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
80	ESP HOPPER #1 - AERATION BLO	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
81	ESP HOPPER #1 - 1ST FIELD- AIR	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
82	ESP HOPPER #1 - 2ND FIELD - AI	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
83	ESP HOPPER #1 - 3RD FIELD - AI	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
84	ESP HOPPER #1 - 4TH FIELD - AI	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
85	BOTTOM ASH SEWAGE PUMP #1	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
86	BOTTOM ASH SEWAGE PUMP #1	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
87	BOTTOM ASH SILO #1 -	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
88	BOTTOM ASH SILO #1 -	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
90	BOTTOM ASH SILO #1 -	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
92	BOTTOM ASH SILO #1 -	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
93	BOTTOM ASH DUST	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
94	BOTTOM ASH UNLOADER #1 (W	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
95	CONTINUOUS BLOWDOWN #1	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
96	INTERMITTEN BLOWDOWN #1	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
98	REHEATER DESUPERHEATER #1	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
101	OIL BURNER #1	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
102	EMERGENCY DIESEL GENERATOR	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
103	TUBE LEAKAGE DETECTION SENS	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
104	SRUCTURE BOILER AREA #1	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
106	PC SECTION UNIT #1	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
118	GENERATOR H2 COOLER #1	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
121	DC SEAL OIL PUMP #1	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
123	GAS EXHAUST SEAL OIL FAN #1A	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
124	GAS EXHAUST SEAL OIL FAN #1B	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
125	SEAL OIL PIPE DAN VALVE #1	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah

No	Descrption RBD	F (probability)	Nilai Probabilitas	Nilai Dampak	PxD	Risiko
126	SEAL OIL FILTER #1A	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
127	SEAL OIL FILTER #1B	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
130	STATOR COOLER PIPE #1	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
131	STATOR COOLER HE #1A	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
132	STATOR COOLER HE #1B	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
143	JACKING OIL PIPE #1	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
146	GLAND STEAM CONDENSOR PIPE	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
147	GLAND STEAM CONDENSOR #1	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
148	GLAND STEAM CONDENSOR BYPASS	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
154	LUBE OIL PIPE #1	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
155	LUBE OIL FILTER #1A	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
156	LUBE OIL FILTER #1B	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
157	LUBE OIL COOLER #1A	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
158	LUBE OIL COOLER #1B	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
159	LUBE OIL PURIFIER #1	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
169	CONDENSATE PIPE #1	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
170	LP HEATER 1 #1	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
171	LP HEATER 1 BYPASS #1	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
172	LP HEATER 2 #1	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
173	LP HEATER 2 BYPASS #1	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
174	LP HEATER 3 #1	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
175	LP HEATER 3 BYPASS #1	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
176	LP HEATER 4 #1	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
177	LP HEATER 4 BYPASS #1	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
182	BOILER FEEDWATER PIPE #1	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
185	HP HEATER BYPASS #1	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
186	MAIN STEAM PIPE #1	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
187	REHEAT STEAM PIPE #1	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
196	FILTER HE OCCW #1	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
197	FILTER HE OCCW BYPASS #1	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
198	CLOSE COOLING WATER PUMP	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
199	CLOSE COOLING WATER PUMP	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
200	CLOSED CYCLE COOLING WATER	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
201	CONDENSATE TRANSFER PUMP	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
202	CONDENSATE MAKE-UP WATER	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah

No	Description RBD	F (probability)	Nilai Probabilitas	Nilai Dampak	PxD	Risiko
205	AUX. STEAM PIPING #1	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
206	SRUCTURE TURBINE AREA #1	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
134	MAIN STEAM VALVE A	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah
135	MAIN STEAM VALVE A	dibawah 0,1	1	1	1	Rendah

LAMPIRAN 5

SCHEDULE PEKERJAAN REDUNDANT YANG DAPAT DIOVERHAUL SAAT PLANT KONDISI OPERASI

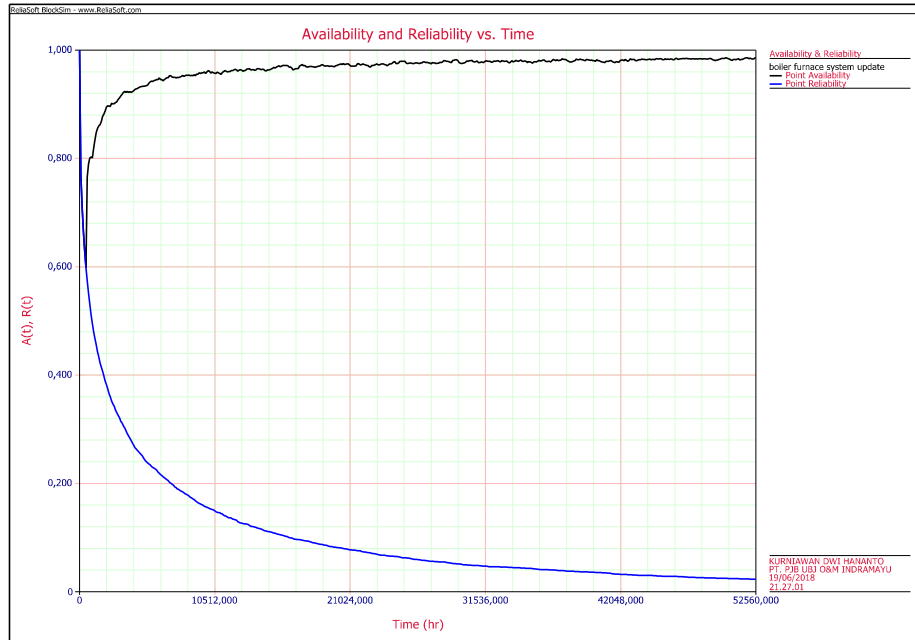
Boiler Feed Pump System		43,75 days	Wed 07/03/18	Thu 19/04/18
BFP A		41,75 days	Fri 09/03/18	Thu 19/04/18
Diassembly Pembersihan strainer	2 days	Fri 09/03/18	Sat 10/03/18	317
Assembly strainer	5 hrs	Sun 11/03/18	Sun 11/03/18	243
Pemeriksaan visual flexible coupling	3 hrs	Sat 07/04/18	Sun 08/04/18	315
Cek alignment	1 day	Sun 08/04/18	Mon 09/04/18	245
Penggantian O ring Casing	0 days	Mon 09/04/18	Mon 09/04/18	246
Pemeriksaan & pengecekan clearance (contact check) , cleaning bearing	0 hrs	Mon 09/04/18	Mon 09/04/18	247
Pemeriksaan impeler dan wearing ring	0 hrs	Mon 09/04/18	Mon 09/04/18	248
Pemeriksaan shaft	0 hrs	Mon 09/04/18	Mon 09/04/18	249
Pemeriksaan mech seal	0 hrs	Mon 09/04/18	Mon 09/04/18	250
Pemeriksaan/cleaning lube oil system (pump, cooler, pipe)	4 days	Sun 11/03/18	Thu 15/03/18	244
Penggantian joint dan O ring , anti extrusion ring , galock seal	0 hrs	Mon 09/04/18	Mon 09/04/18	251
Pemeriksaan/Penambahan/penggantian pelumas	4 hrs	Mon 09/04/18	Mon 09/04/18	253
Aligment	12 hrs	Mon 09/04/18	Wed 11/04/18	254
Pemeriksaan valve drain dan vent suction dari kemacetan	3 hrs	Wed 11/04/18	Wed 11/04/18	255
Cleaning dan pengecatan	4 hrs	Wed 11/04/18	Wed 11/04/18	256SS

354	Condensate Pump System	17 days	Wed 07/03/18	Fri 23/03/18
383	Condensate Transfer Pump System	1,63 days	Fri 30/03/18	Sun 01/04/18
390	Vacuum pump system	27,06 days	Wed 07/03/18	Tue 03/04/18
419	Generator Seal Oil System	21,69 days	Mon 12/03/18	Mon 02/04/18

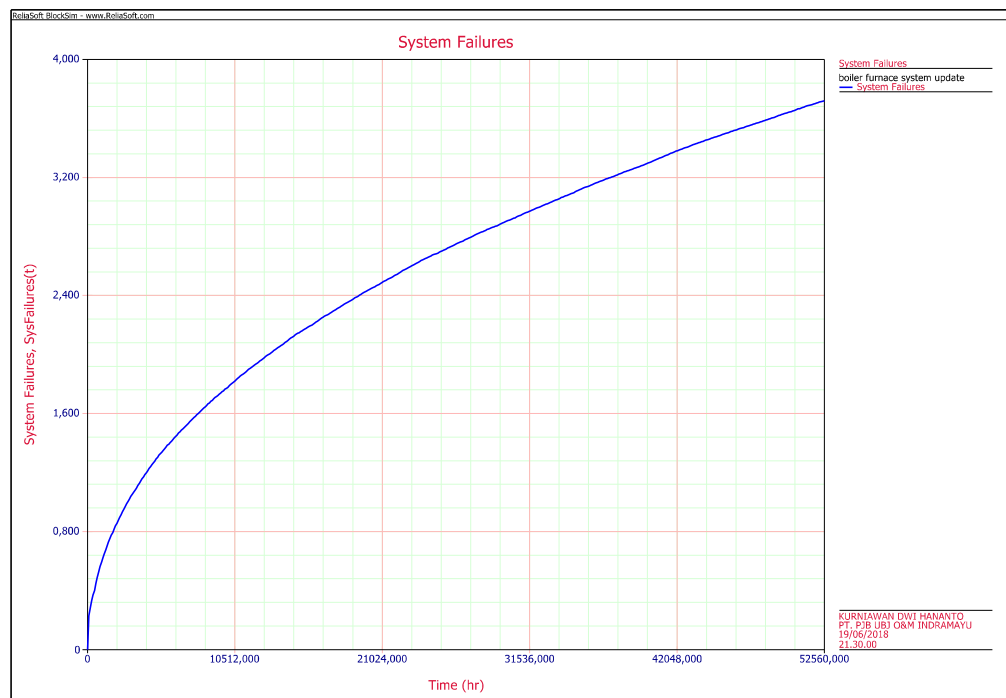
LAMPIRAN 6. GRAFIK RELIABILITY DAN AVAILABILITY SYSTEM

1. BOILER FURNACE SYSTEM

- GRAFIK AVAILABILITY DAN RELIABILITY

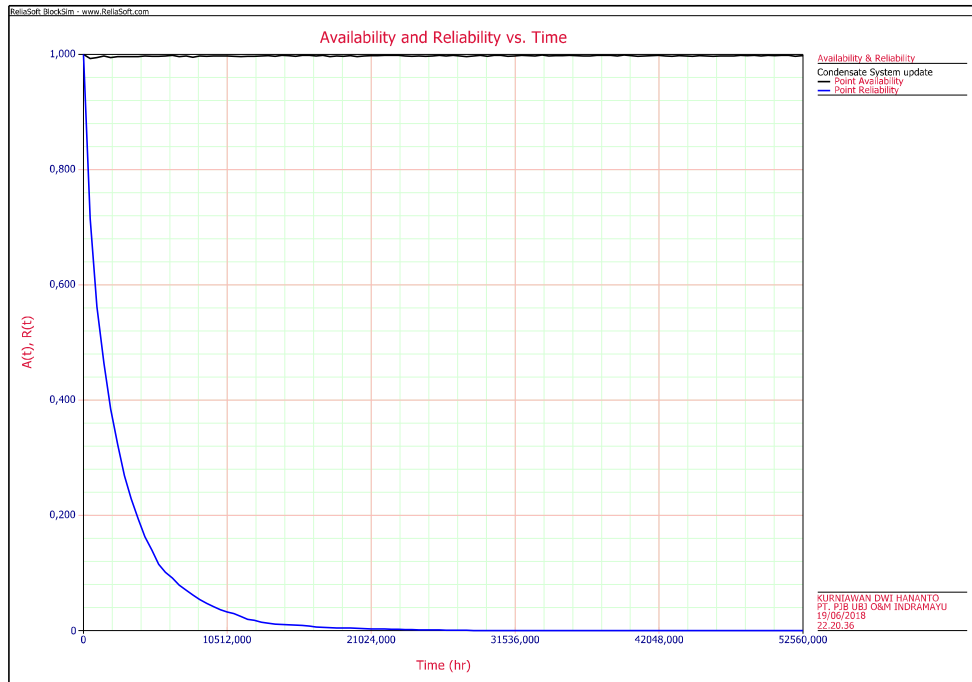


- GRAFIK SYSTEM FAILURE

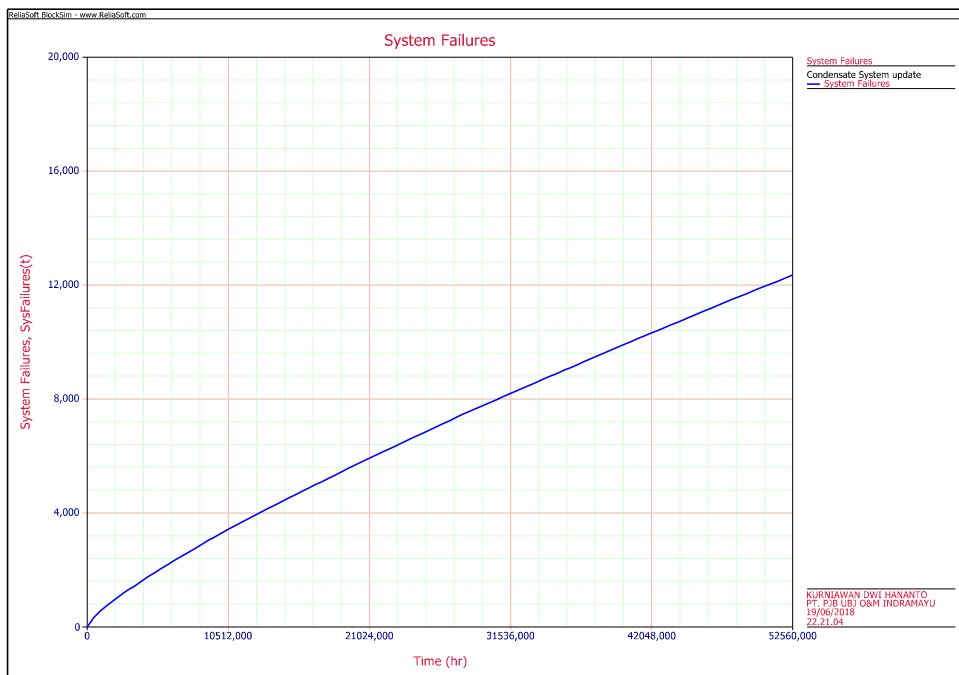


3. CONDENSATE SYSTEM

- **GRAFIK AVAILABILITY DAN RELIABILITY**

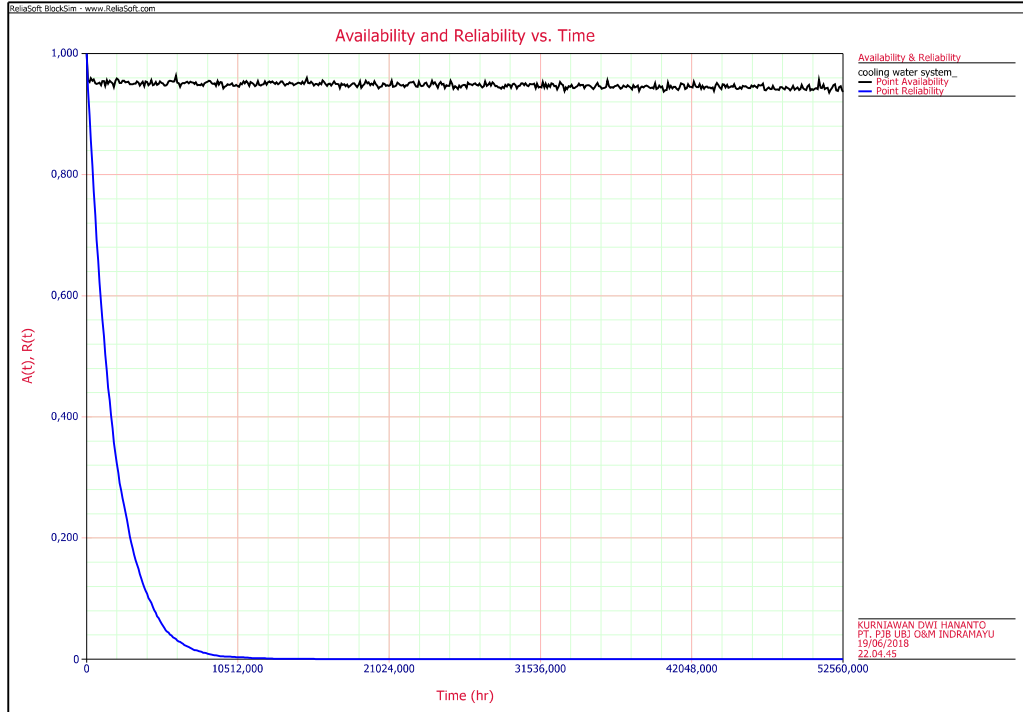


- **GRAFIK SYSTEM FAILURE**

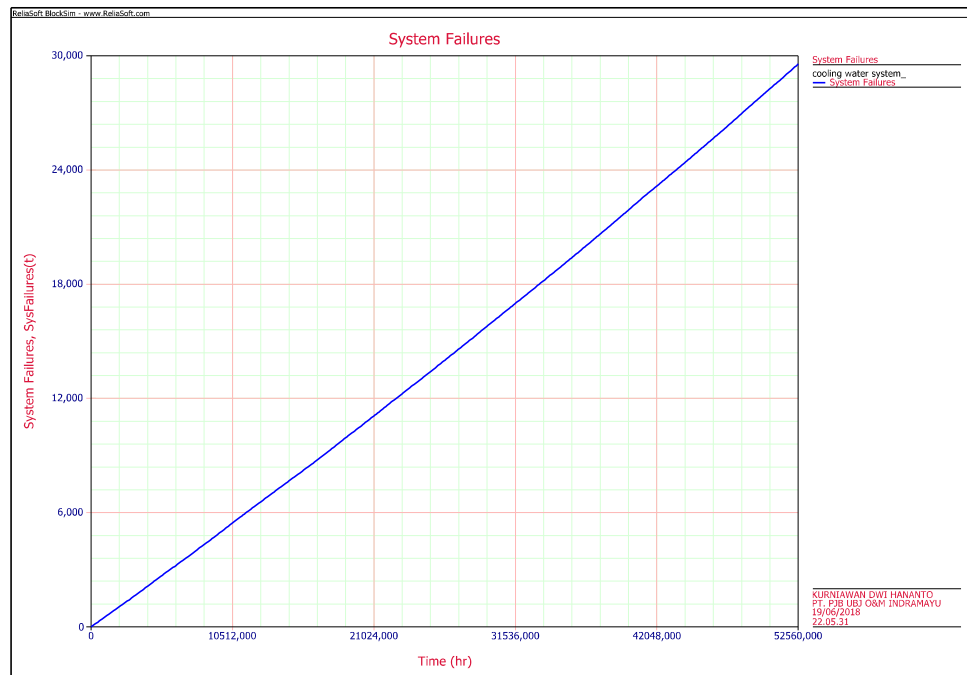


4. COOLING WATER SYSTEM

- **GRAFIK AVAILABILITY DAN RELIABILITY**

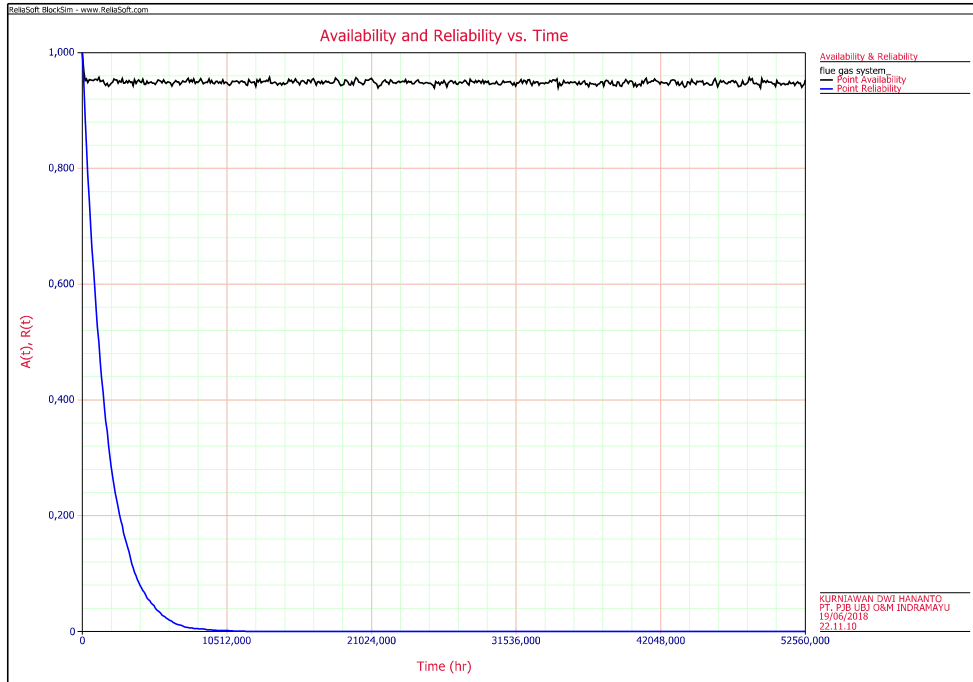


- **GRAFIK SYSTEM FAILURE**

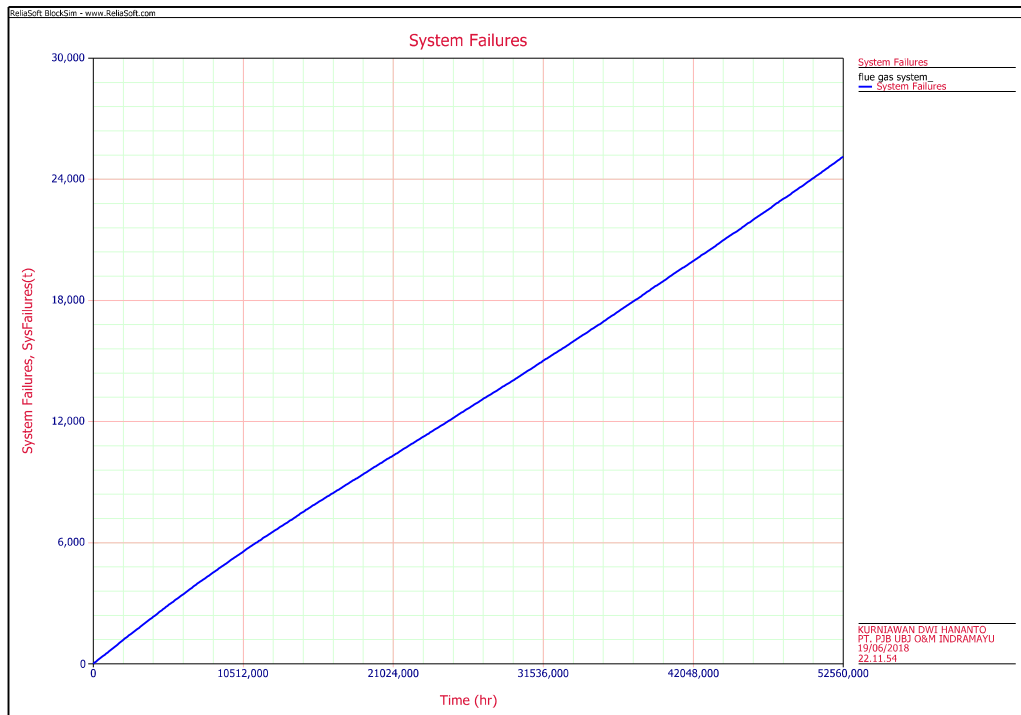


5. FLUE GAS SYSTEM

- **GRAFIK AVAILABILITY DAN RELIABILITY**



- **GRAFIK SYSTEM FAILURE**



6. GENERATOR SYSTEM

- **GRAFIK AVAILABILITY DAN RELIABILITY**

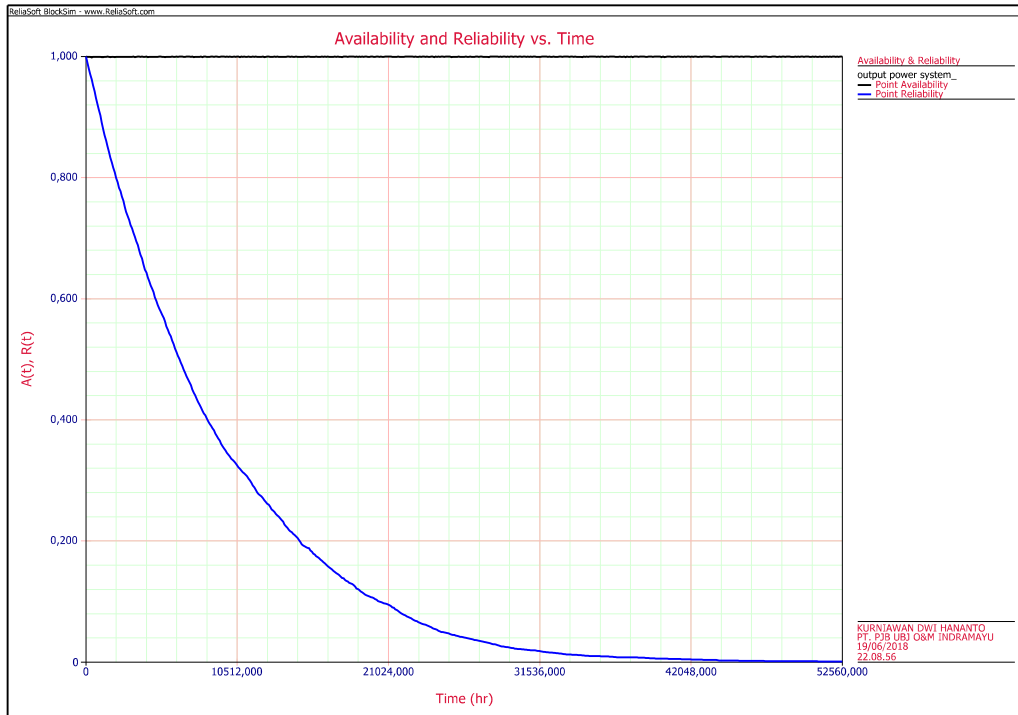


- **GRAFIK SYSTEM FAILURE**

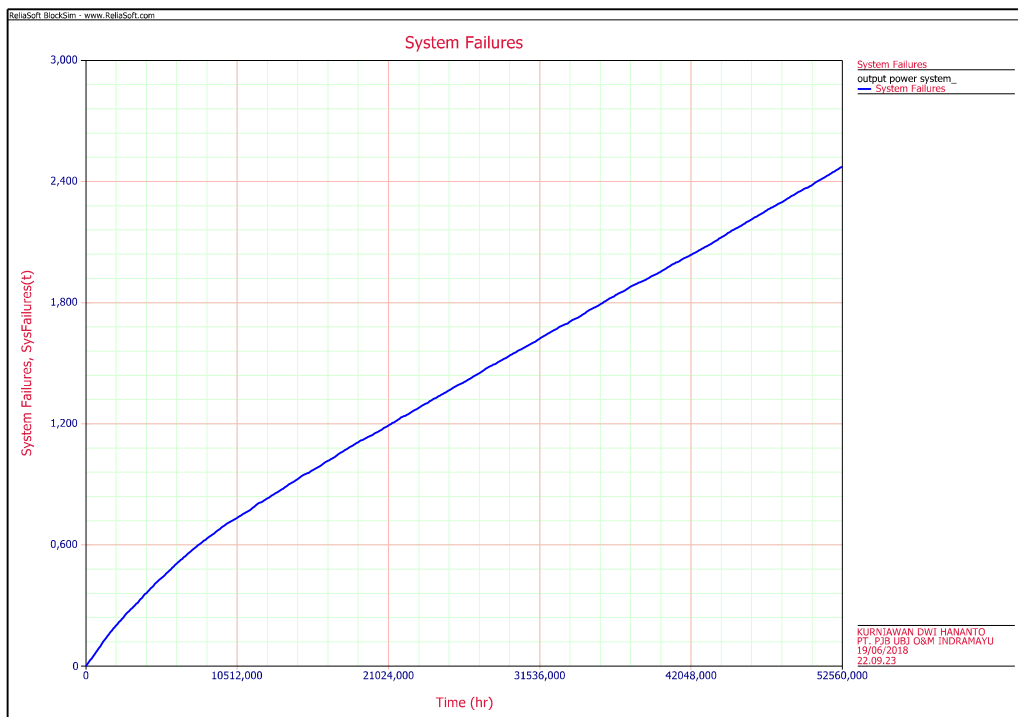


7. OUTPUT POWER SYSTEM

- **GRAFIK AVAILABILITY DAN RELIABILITY**

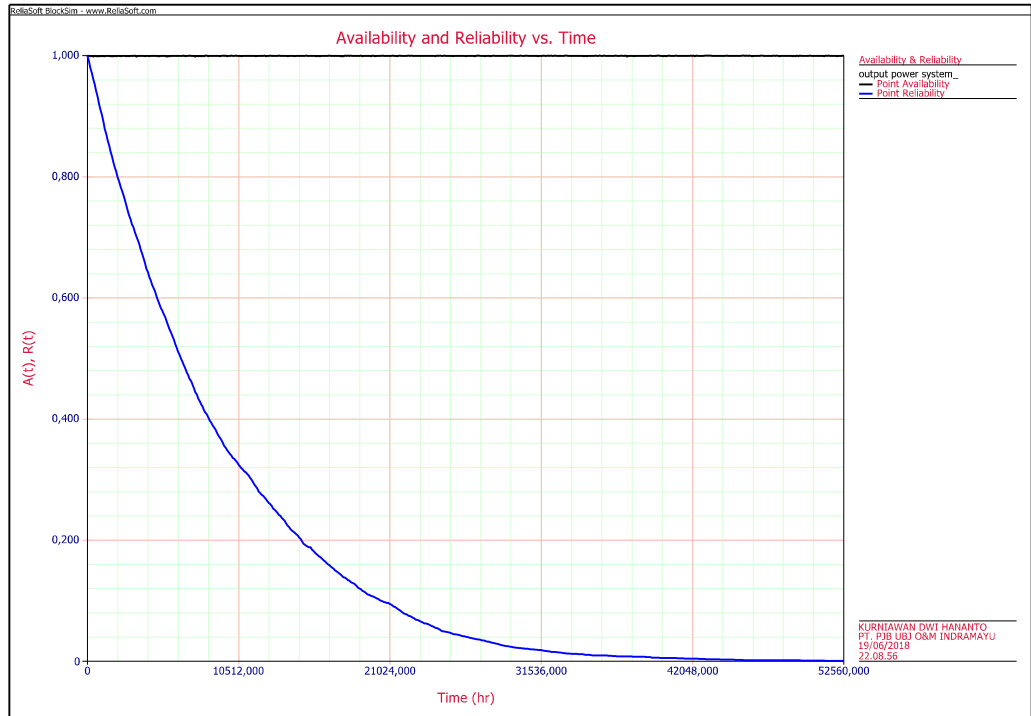


- **GRAFIK SYSTEM FAILURE**

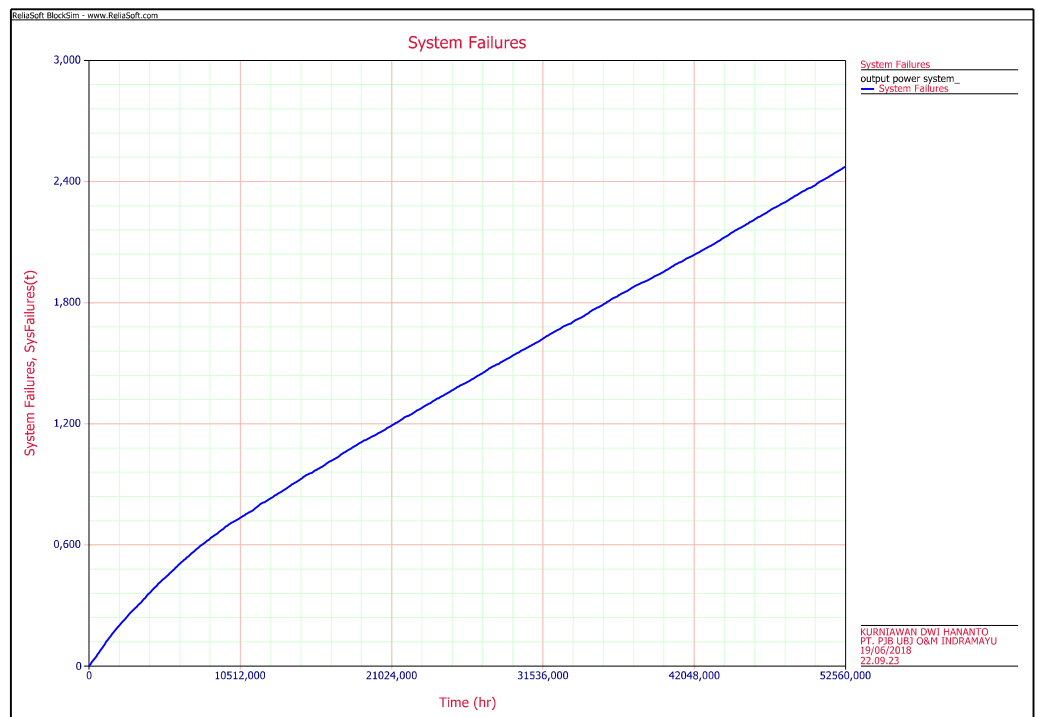


8. TURBINE SYSTEM

- **GRAFIK AVAILABILITY DAN RELIABILITY**



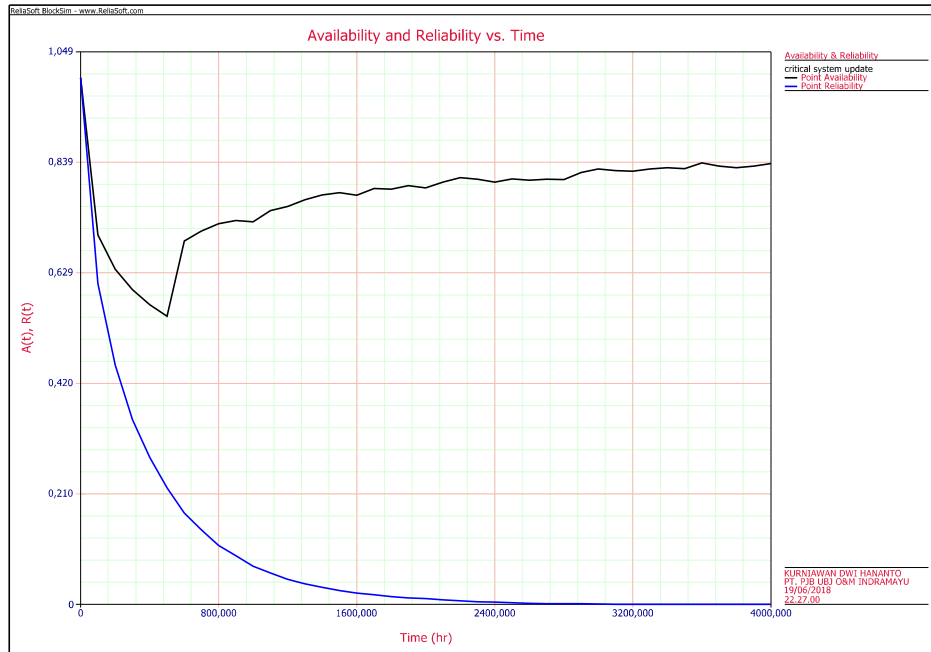
- **GRAFIK SYSTEM FAILURE**



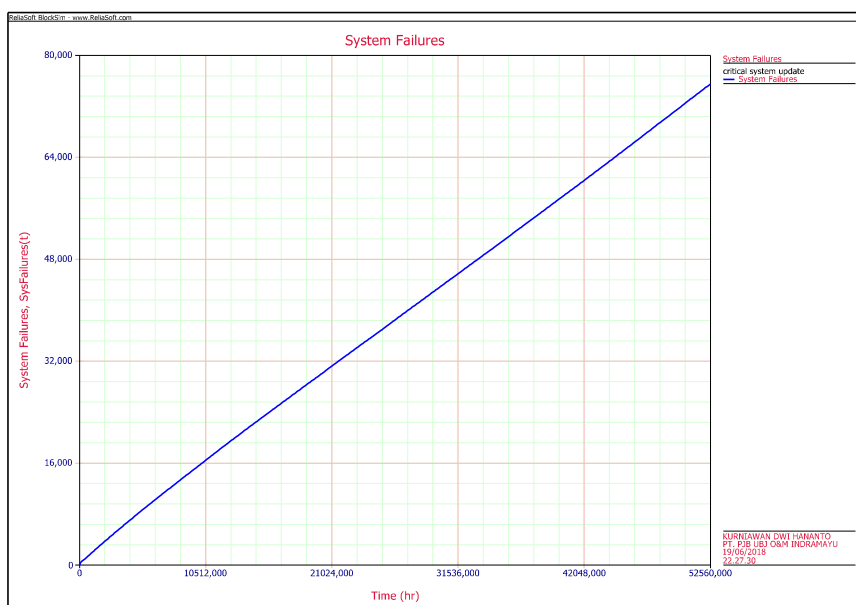
LAMPIRAN 7. GRAFIK RELIABILITY AVAILABILITY DAN BLOCKDOWN SYSTEM PLANT

1. PLANT

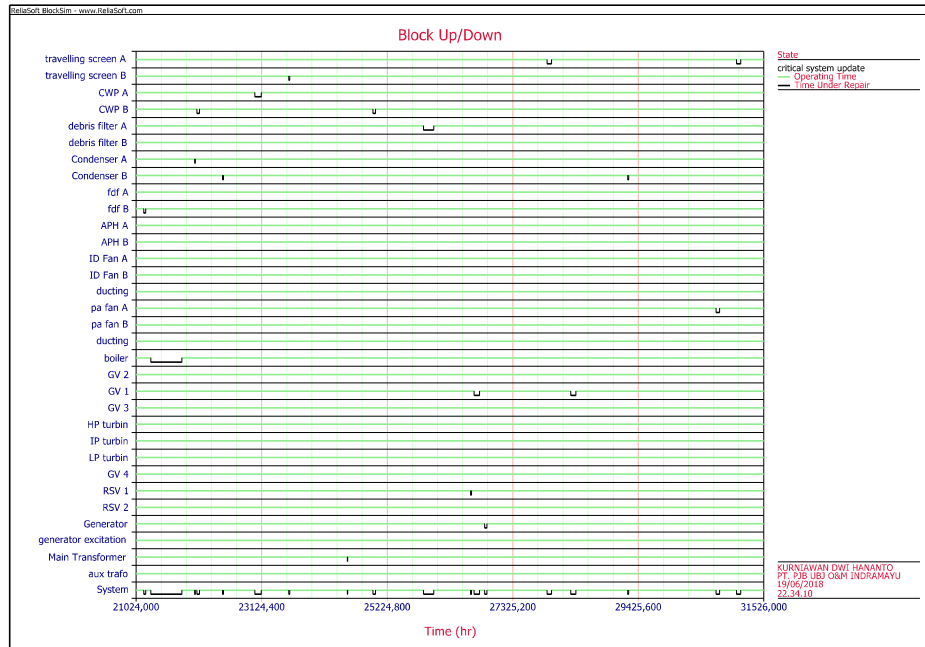
- GRAFIK AVAILABILITY DAN RELIABILITY PLANT



- GRAFIK SYSTEM FAILURE PLANT



- **BLOCKDOWN DIAGRAM PLANT**



LAMPIRAN 8. BIAYA PEMELIHARAAN

Rata rata biaya pemeliharaan (diambil dari Oktober 2016 - Oktober 2017)		
1. Preventive maintenance	268.453.748	per bulan
2. Corrective maintenance	517526176,4	per bulan
3. Emergency maintenance	7.783.462	per bulan
Total Rata Rata	793.763.386	per bulan
	1.102.449	per jam

LAMPIRAN 9. BIAYA OVERHAUL

OVERHAUL SI UNIT #1

No.	No. PRK	Diskripsi PRK Spare Part	Anggaran Terpakai
1	173N0302	MATERIAL / SPARE PART SI	Rp 11.199.238.000
2	173N0301	MATERIAL/ SPARE PART UMUM SI UNIT 1	Rp 9.884.967.538
3	173N0303	KOMPONEN MATERIAL AUXILIARY VALVE	Rp 2.357.928.991

No	No. PRK	Diskripsi PRK Jasa	Anggaran Terpakai
1	173N0305	JASA NON RUTIN OVERHAUL SI	Rp -
2	173N0307	JASA OH MINOR MILL 3 UNIT	Rp 369.000.000
3	173N0308	JASA OH MAJOR MILL 1 UNIT	Rp 298.000.000
4	173N0306	REPAIR VALVE OH SI UNIT #1	Rp 1.499.741.831
5		BIAYA JASA PELAKSANA OVERHAUL PJBS	Rp 7.045.001.000

LAMPIRAN 10. PROGRAM GA PADA MATLAB

A. Optimasi Fungsi V” (titik t_{opt})

```
function V = fungsi_fit1(t)
V=-((45672445.16-1347.47*t)-(1./t).*(1-0.9969*exp(-((t-
7.5942)/602.0508).^0.9755)).*...
    (-339322659949.12*exp(-
(0.2475+(t/213120)).^2.9)+310.26*t.^2+468547*t+399422594676)-
(1./t).*(32653877360+1102449*t));

options=gaoptimset('PopInitRange',[8;52560],'PopulationSize',10000
);
for i=1:100
    [x,fval]=ga(@fungsi_fit2,1,[],[],[],[],[],[],[],[],options);
    urutan(i)=fval;
    tampil{i}=[x,fval];
    cell2mat(tampil);
    datab1(i)=x;
    datab2(i)=fval;
    clear tampil
end
headnya={'t','V'};
xlswrite('Tabelhasilc10000.xlsx',headnya,'sheet1','A1');
xlswrite('Tabelhasilc10000.xlsx',datab1,'sheet1','A2');
xlswrite('Tabelhasilc10000.xlsx',datab2,'sheet1','B2');
minur=min(urutan);
pos=find(urutan==minur);
xlswrite('Tabelhasilc10000.xlsx',urutan(pos),'sheet1','E2');
xlswrite('Tabelhasilc10000.xlsx',datab1(pos),'sheet1','D2');
```

B. Optimasi Fungsi abs V” (titik A dan B) untuk mencari titik singgung dengan sumbu X (Y=0)

Titik A

```
function V = fungsi_fitlabs(t)
V=abs(((45672445.16-1347.47*t)-(1./t).*(1-0.9969*exp(-((t-
7.5942)/602.0508).^0.9755)).*...
    (-339322659949.12*exp(-
(0.2475+(t/213120)).^2.9)+310.26*t.^2+468547*t+399422594676)-
(1./t).*(32653877360+1102449*t)));

options=gaoptimset('PopInitRange',[2200;2500]);
for i=1:100
    [x,fval]=ga(@fungsi_fitlabs,1,[],[],[],[],[],[],[],[],options);
    urutan(i)=fval;
```

```

    tampil{i}=[x,fval];
    cell2mat(tampil);
    datab1(i)=x;
    datab2(i)=fval;
    clear tampil
end
headnya={'t','V'};
xlswrite('Tabelhasilbabs.xlsx',headnya,'sheet1','A1');
xlswrite('Tabelhasilbabs.xlsx',datab1,'sheet1','A2');
xlswrite('Tabelhasilbabs.xlsx',datab2,'sheet1','B2');
minur=min(urutan);
pos=find(urutan==minur);
xlswrite('Tabelhasilbabs.xlsx',urutan(pos),'sheet1','E2');
xlswrite('Tabelhasilbabs.xlsx',datab1(pos),'sheet1','D2');

```

Titik B

```

function V = fungsi_fitlabs(t)
V=abs(((45672445.16-1347.47*t)-(1./t).*(1-0.9969*exp(-(t-
7.5942)/602.0508).^0.9755)).*...
    (-339322659949.12*exp(-
(0.2475+(t/213120)).^2.9)+310.26*t.^2+468547*t+399422594676)-
(1./t).*(32653877360+1102449*t)));

options=gaoptimset('PopInitRange',[23700;23900]);
for i=1:100
    [x,fval]=ga(@fungsi_fitlabs,1,[],[],[],[],[],[],[],[],options);
    urutan(i)=fval;
    tampil{i}=[x,fval];
    cell2mat(tampil);
    datab1(i)=x;
    datab2(i)=fval;
    clear tampil
end
headnya={'t','V'};
xlswrite('Tabelhasilbabs2.xlsx',headnya,'sheet1','A1');
xlswrite('Tabelhasilbabs2.xlsx',datab1,'sheet1','A2');
xlswrite('Tabelhasilbabs2.xlsx',datab2,'sheet1','B2');
minur=min(urutan);
pos=find(urutan==minur);
xlswrite('Tabelhasilbabs2.xlsx',urutan(pos),'sheet1','E2');
xlswrite('Tabelhasilbabs2.xlsx',datab1(pos),'sheet1','D2');

```

C. Optimasi Fungsi Kc”

```

function K = fungsi_fit2(t)
K=(1./t).*(1-0.9969*exp(-(t-7.5942)/602.0508).^0.9755)).*...
    (-339322659949.12*exp(-
(0.2475+(t/213120)).^2.9)+310.26*t.^2+468547*t+399422594676)+(1./t)
).*(32653877360+1102449*t);

```

```

options=gaoptimset('PopInitRange',[8;52560]);
for i=1:100
    [x,fval]=ga(@fungsi_fit2,1,[],[],[],[],[],[],[],[],options);
    urutan(i)=fval;
    tampil{i}=[x,fval];
    cell2mat(tampil);
    datab1(i)=x;
    datab2(i)=fval;
    clear tampil
end
headnya={'t','V'};
xlswrite('Tabelhasilc.xlsx',headnya,'sheet1','A1');
xlswrite('Tabelhasilc.xlsx',datab1,'sheet1','A2');
xlswrite('Tabelhasilc.xlsx',datab2,'sheet1','B2');
minur=min(urutan);
pos=find(urutan==minur);
xlswrite('Tabelhasilc.xlsx',urutan(pos),'sheet1','E2');
xlswrite('Tabelhasilc.xlsx',datab1(pos),'sheet1','D2');

```

BIOGRAFI PENULIS



Penulis merupakan anak ke lima dari lima bersaudara. Dilahirkan di kota Jogjakarta pada tanggal 19 Mei 1980. Penulis memulai pendidikannya di SDK Gowongan Jogkarta, SMP Negeri 8 Jogjakarta, SMU Negeri 1 Jogjakarta dan S1 pada Jurusan Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada. Saat ini penulis bekerja sebagai Management Outage Senior Supervisor PT. Pembangkitan Jawa Bali pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap 2 x 330 Megawatt di Jawa Barat. Pada 2016 penulis mendapatkan program beasiswa program S2 di Institute Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Pada jenjang ini penulis melakukan penelitian tesis tentang optimasi untuk penentuan interval overhaul yang paling optimal sehingga dapat diaplikasikan di dunia kerja.