



TESIS - BM185407

**ANALISIS KEANDALAN DAN BIAYA SIKLUS HIDUP  
UNTUK OPTIMALISASI MANAJEMEN ASET  
PEMBANGKIT (STUDI KASUS PERALATAN *STEAM*  
*TURBINE* DI PT. PEMBANGKITAN JAWA BALI)**

**GEDE BAYU ANUGRAH JANARDANA  
09211850015024**

**Dosen Pembimbing:  
Dr. Ir. Mokh Suef, M.Sc (Eng)**

**Departemen Manajemen Teknologi  
Fakultas Desain Kreatif dan Bisnis Digital  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
2020**

# LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

**Magister Manajemen Teknologi (M.MT)**

di

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh:

**Gede Bayu Anugrah Janardana**

**NRP: 09211850015024**

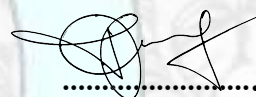
**Tanggal Ujian: 22 Juli 2020**

**Periode Wisuda: September 2020**

Disetujui oleh:

**Pembimbing:**

1. **Dr. Ir. Mokh. Suef, M.Sc(Eng)**  
**NIP: 196506301990031002**



.....

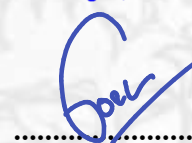
**Penguji:**

1. **Prof. Dr Ir. Soeparno, M.S.I.E**  
**NIP: 194807101976031002**



.....

2. **Dr. Ir. I Ketut Gunarta, M.T**  
**NIP: 196802181993031002**



.....

Kepala Departemen Manajemen Teknologi

Fakultas Desain Kreatif dan Bisnis Digital



**Prof. Ir. I Nyoman Pujawan, M.Eng, Ph.D, CSCP**

**NIP: 196912311994121076**

# **ANALISIS KEANDALAN DAN BIAYA SIKLUS HIDUP UNTUK OPTIMALISASI MANAJEMEN ASET PEMBANGKIT (STUDI KASUS PERALATAN *STEAM TURBINE* DI PT. PEMBANGKITAN JAWA BALI)**

Nama Mahasiswa : Gede Bayu Anugrah Janardana  
NRP : 09211850015024  
Pembimbing : Dr. Ir.Mokh. Suef, M.Sc (Eng)

## **ABSTRAK**

Kondisi Persaingan yang ketat dalam bisnis pembangkit listrik menuntut para produsen listrik menyediakan pasokan energi listrik dengan biaya pokok penyediaan (BPP) yang rendah. Disisi lain, banyaknya aset peralatan yang dikelola oleh perusahaan pembangkit listrik mengharuskan adanya proses management aset yang tepat, guna menekan adanya potensi peningkatan biaya pemeliharaan dan investasi peralatan yang berimbas pada kenaikan BPP. PT. Pembangkitan Jawa Bali (PT. PJB) sebagai perusahaan yang mengelola aset lebih dari Rp 174 triliun memiliki tantangan dalam proses mengoptimalkan pengelolaan manajemen aset perusahaannya. Semakin berkurangnya jumlah anggaran pemeliharaan dan investasi pada perusahaan serta kondisi peralatan yang sudah beroperasi lebih dari 20 tahun menuntut adanya metode management aset yang dapat memberikan pemahaman secara menyeluruh terhadap kondisi teknis dan ekonomis setiap peralatannya, sehingga dapat memberikan informasi yang tepat guna mendukung proses pengambilan keputusan yang diharapkan dapat menekan BPP.

Pada Penelitian ini dilakukan analisis kondisi aset di PT. PJB dengan menggabungkan metode analisis Keandalan (Reliability) dan perhitungan umur ekonomis (*Economic Life*) peralatan. Studi kasus dilakukan pada salah satu unit di PT. Pembangkit Listrik Z tepatnya di PLTGU ST #2. Tujuan dari penelitian ini untuk mendapatkan informasi secara menyeluruh mencakup nilai keandalan dan umur ekonomis setiap peralatan unit untuk memudahkan manajemen dalam proses pengambilan keputusan untuk pemilihan strategi pemeliharaan dan pengantian aset.

Analisis keandalan dilakukan dengan menggunakan software RBD, RGA, dan Weibull. Perhitungan reliability dilakukan dengan melihat jumlah dan waktu antar kerusakan. Perhitungan umur ekonomis dilakukan dengan menghitung biaya ekuivalen tahunan. Analisis dilakukan pada setiap peralatan kritis yang terdapat pada PLTGU ST #2. Dari analisis tersebut didapatkan startegi perumusan penggantian aset peralatan pembangkit berupa klasifikasi peralatan berdasarkan batasan – batasan parameter yang digunakan. Selain itu dihasilkan peta kondisi keandalan dan umur ekonomis yang menggambarkan jumlah peralatan yang harus segera diganti, tetap dipelihara, dan perlu segera dievaluasi strategi perawatannya. Sehingga informasi ini dapat digunakan manajemen dalam memutuskan evaluasi strategi pemeliharaan dan pengantian guna menekan biaya pokok penyediaan.

Kata Kunci : *Reliability Analysis, Economic Life, Asset Management, Replacement Strategy*

# **RELIABILITY ANALYSIS AND ECONOMIC LIFE CALCULATION FOR ASSET MANAGEMENT OPTIMIZATION (CASE STUDY IN STEAM POWER GENERATION UNIT AT PT. PEMBANGKITAN JAWA BALI)**

Name : Gede Bayu Anugrah Janardana  
NRP : 09211850015024  
Advisor : Dr. Ir.Mokh. Suef, M.Sc (Eng)

## **ABSTRACT**

In a competitive market driven industry at a power generation business, requires The electricity producers to provide electricity with a low cost of supply. On the other hand, the large number of equipment assets managed by the power plant companies requires an appropriate asset management process, in order to reduce the increased maintenance and investment costs of equipment which which can cause an increase in the cost of supply. PT. Pembangkitan Jawa Bali (PT. PJB) as a company that manages assets of more than Rp 174 trillion has challenges in the process of optimizing its company's asset management. The decreasing amount of maintenance and investment budget in the company each year and the equipment conditions that have been operated for more than 20 years, requires an asset management method that can provide a comprehensive understanding of the technical and economic conditions of each equipment, so it can be provide appropriate information to support the decision making process.

In this study, the authors conducted an analysis of asset conditions at PT. PJB by combining the method of reliability analysis and calculation of the economic life of the equipment. Case study was conducted at one of the units at PT. PJB precisely in PLTGU ST # 2. The purpose of this study is to obtain comprehensive information including the value of reliability and economic life of each equipment in the unit to facilitate management in the decision making process for the selection of maintenance strategies and asset replacement.

Reliability analyzes were performed using RBD, RGA, and Weibull software. Reliability calculation will be done by looking at the amount and time between damages. Economic life calculation is done by calculating the annual equivalent cost. The analysis was performed on each equipment in the PLTGU ST # 2. From the analysis, It's founded the formulation of replacement strategy for power plant equipment in the form of equipment classification based on the parameters used. In addition, equipment condition maps are also obtained based on the reliability index and economic life that describe the number of equipment that must be replaced, keep, and need further maintenance analysis. So this information can be used by management in deciding the evaluation of maintenance and replacement strategies to reduce the cost of supply.

**Keyword** : *Reliability Analysis, Economic Life, Asset Management, Replacement Strategy*

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat dan berkat-Nya penulis dapat menyelesaikan Tesis dengan judul “Analisis Keandalan dan Biaya Siklus Hidup untuk Optimalisasi Manajemen Aset Pembangkit (Studi Kasus Peralatan *Steam Turbine* di PT. Pembangkitan Jawa Bali”. Tesis ini disusun sebagai syarat menyelesaikan studi strata-2 (S2) di Program Pascasarjana Magister Management Teknologi Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selama proses pengerjaan proposal Tesis ini, penulis telah menerima banyak dukungan, masukan, serta bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Mokh Suef, M.Sc (Eng) atas bimbingan, arahan, dan waktu yang telah diluangkan kepada penulis untuk berdiskusi selama proses penyusunan proposal Tesis ini,
2. Seluruh Dosen program Pascasarja Manajemen Industri, Magister Manajemen Teknologi ITS yang telah memberikan ilmu kepada penulis,
3. Orang Tua penulis yang tercinta Ibunda Nengah Sumariyati dan Ayahanda Nyoman Suprayatna serta adik – adik penulis Pram, Nanda, Putri atas doa, dorongan dan semangat kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini tepat pada waktunya
4. Pendamping setia dan tercinta penulis Yuni Mentari yang selalu memberikan waktu, dukungan dan semangat kepada penulis selama proses penyusunan Tesis ini,
5. Rekan-rekan sejawat S-2 MMT Kelas Eksekutif Angkatan 2018 yang tidak dapat saya sebutkan satu-persatu,
6. Rekan-rekan di PT PJB UP Gresik yang mensupport dalam diskusi dan pencarian data,
7. Kepada semua pihak yang telah membantu yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa proposal tesis ini masih jauh dari kata sempurna, oleh sebab itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran agar proposal tesis ini lebih baik serta sebagai masukan bagi penulis untuk penyempurnaan bagi penyusunan laporan Tesis kedepannya. Akhir kata penulis berharap proposal ini dapat memberikan banyak manfaat bagi semua pihak. Apabila terdapat kesalahan dan kekurangan, penulis memohon maaf yang sebesar-besarnya.

Gresik , 22 Juli 2020

Gede Bayu Anugrah Janardana

## DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	6
1.5 Batasan Masalah.....	6
1.6 Asumsi Penelitian.....	7
1.7 Sistematika Penulisan Tesis.....	7
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>9</b>
2.1 Sistem Pembangkit di Unit Pembangkit Gresik.....	9
2.1.1 Sistem PLTGU.....	9
2.1.2 Sistem <i>Steam Turbine</i> .....	11
2.2 Pemeliharaan Pembangkit.....	12
2.2.1 Pemeliharaan <i>Preventive</i> .....	13
2.2.2 Pemeliharaan <i>Predictive</i> .....	13
2.2.3 <i>Overhaul</i> .....	13
2.2.4 Pemeliharaan <i>Corrective</i> .....	14
2.3 Konsep Keandalan.....	14
2.3.1 Keandalan ( <i>Reliability</i> ).....	14
2.3.2 Distribusi Kegagalan.....	16
2.3.2.1 Distribusi Normal.....	16
2.3.2.2 Distribusi Weibull.....	17
2.3.2.3 Distribusi Lognormal.....	18
2.3.2.4 Distribusi Eksponensial.....	18
2.4 Reliasoft.....	19
2.4.1 RGA.....	19
2.4.2 Weibull++.....	22

2.5	<i>Life Cycle Cost Analysis</i> .....	25
2.6	Manajemen Aset .....	30
2.7	Konsep <i>replacement analysis</i> .....	32
	2.7.1 Konsep <i>Defender</i> dan <i>Challenger</i> .....	33
	2.7.2 Konsep <i>Sunk Cost</i> .....	33
	2.7.3 Sudut Pandang dari Luar Sistem .....	34
	2.7.4 Umur Ekonomis Suatu Peralatan.....	34
2.8	Posisi Penelitian .....	36
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....		39
3.1	Pengumpulan Data .....	41
3.2	Pengolahan Data .....	42
	3.2.1 Perhitungan EUAC Peralatan .....	42
	3.2.2 Perhitungan <i>Reliability</i> Peralatan .....	43
3.3	Tahap Analisis Data .....	44
3.4	Kesimpulan & Saran .....	44
<b>BAB IV ANALISA HASIL</b> .....		45
4.1	Identifikasi Komponen Kritis Sistem <i>Steam Turbin</i> .....	45
4.2	Pengumpulan Data Terkait Keandalan .....	48
4.3	Pengumpulan Data Perhitungan EUAC.....	50
	4.3.1 <i>Acquisition Cost</i> (Biaya Perolehan).....	50
	4.3.2 <i>Operation &amp; Maintenance Cost</i> .....	51
4.4	Perhitungan <i>Reliability</i> .....	60
4.5	Perhitungan EUAC .....	66
	4.5.1 Perhitungan <i>Annual Acquisition Cost</i> .....	66
	4.5.2 Perhitungan <i>Annual Operation &amp; Maintenance Cost</i> .....	67
	4.5.3 Nilai EUAC .....	69
4.6	Analisis Hasil Perhitungan.....	70
4.7	Perumusan Strategi Penggantian Peralatan.....	71
4.8	Pemetaan Kondisi Peralatan <i>Steam Turbin</i> .....	75
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....		77
5.1	Kesimpulan .....	77
5.2	Saran .....	79
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....		80
<b>LAMPIRAN</b> .....		83

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Tren Anggaran Biaya Investasi UP Gresik .....	4
Gambar 2. Konfigurasi PLTGU UP Gresik .....	9
Gambar 3. Diagram alir PLTGU UP Gresik.....	10
Gambar 4. Flow diagram unit steam turbine PLTGU UP Gresik.....	11
Gambar 5. Jenis pemeliharaan pembangkit .....	12
Gambar 6. Bathtub Curve (Dhillon, 2010) .....	15
Gambar 7. Interface project pada RGA .....	19
Gambar 8. Interface lembar kerja pada RGA .....	20
Gambar 9. Tampilan hasil ringkasan analisis pada RGA .....	20
Gambar 10. Tampilan plot pada RGA .....	21
Gambar 11. Tampilan hasil perhitungan matriks pada RGA.....	21
Gambar 12. Membuat lembar kerja life data pada Weibull++ .....	22
Gambar 13. Lembar kerja life data pada Weibull++ .....	23
Gambar 14. Tampilan Analysis Summary pada Weibull++ .....	23
Gambar 15. Tampilan plot diagram pada Weibull++ .....	24
Gambar 16. Tampilan hasil analisis pawa Weibull++ .....	24
Gambar 17. Proses LCCA (Barringer,1998).....	27
Gambar 18. Life Cycle Aset (Davis, 2014) .....	31
Gambar 19. Grafik Umur Ekonomis.....	35
Gambar 20. Perbandingan Defender dengan Challenger (Sullivan, et al.,2003)..	35
Gambar 21. Diagram Alir metodologi penelitian .....	39
Gambar 22. Tahap perhitungan nilai reliability pada Reliasoft.....	43
Gambar 23. Hasil Pareto Kerusakan Peralatan Utama Steam Turbine 2.0.....	47
Gambar 24. Tampilan masukkan TBF pada Software RGA .....	60
Gambar 25. Tampilan Rangkuman Hasil Kalkulasi Software RGA .....	61
Gambar 26. Tampilan Hasil Running Nilai MTTR dengan Software Weibull++	62
Gambar 27. Tampilan Pengisian Parameter pada Blocksिम.....	64
Gambar 28. Tampilan hasil perhitungan nilai keandalan pada Blocksिम .....	65
Gambar 29. Flowchart Prosedur Penggantian Peralatan Pembangkit.....	73



## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Kapasitas masing – masing Unit Pembangkit di UP Gresik.....	1
Tabel 2. Nilai Aset masing – masing Unit Pembangkit di UP Gresik.....	2
Tabel 3. Life Cycle Cost Of Analysed Assets .....	26
Tabel 4. Penelitian sebelumnya dan posisi peneliti pada Replacement Strategies	36
Tabel 5. Jumlah kerusakan peralatan utama Steam Turbine #2.....	45
Tabel 6. Tampilan rekap Work Order Peralatan dari sistem ELLIPSE.....	48
Tabel 7. Tampilan hasil identifikasi kerusakan yang menyebabkan downtime ...	49
Tabel 8. Penjabaran parameter kerusakan peralatan kritis <i>SWB Pump (A)</i> .....	50
Tabel 9. Nilai Aset dan Tahun Perolehan Peralatan Kritis <i>Steam Turbine #2</i> .....	51
Tabel 10. Biaya Tenaga kerja Peralatan SWBP (A) setiap Tahun.....	52
Tabel 11. Konsumsi energi Peralatan Kritis PLTGU ST 2.0.....	53
Tabel 12. Biaya Energi Listrik Peralatan SWBP (A) tahun 2001 - 2016 .....	54
Tabel 13. Rekap biaya pemeliharaan corrective peralatan kritis SWBP (A).....	55
Tabel 14. Biaya pemeliharaan <i>preventive</i> peralatan kritis PLTGU ST 2.0.....	56
Tabel 15. Biaya pemeliharaan <i>predictive</i> peralatan kritis SWBP (A) .....	57
Tabel 16. Biaya <i>overhaul</i> dari Peralatan Kritis SWBP (A) PLTGU ST 2.0.....	58
Tabel 17. Rekap Kejadian dan Biaya Konsekuensial Condensor ST 2.0 .....	59
Tabel 18. Rangkuman Nilai Parameter Hasil Fitting Distribusi .....	61
Tabel 19. Hasil Running MTTR pada Software Weibull++.....	63
Tabel 20. Hasil Perhitungan Reliability Peralatan Kritis ST 2.0 .....	65
Tabel 21. Nilai Annual Acquisition Cost Peralatan SWBP (A) PLTGU ST 2.0..	67
Tabel 22. Perhitungan annual O&M Cost peralatan kritis SWBP (A) .....	68
Tabel 23. Perhitungan EUAC Peralatan Kritis SWBP (A).....	69
Tabel 24. Nilai minimum EUAC, umur ekonomis dan keandalan Peralatan .....	70
Tabel 25. Pemetaan Peralatan kritis PLTGU Steam Turbin 2.0 .....	76

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

PT. Pembangkitan Jawa Bali (PT. PJB) merupakan anak perusahaan dari PT. PLN (Persero) yang fokus bergerak pada sektor bisnis pembangkitan di Indonesia. Memiliki kapasitas total pembangkit lebih dari 20.000 MW (menopang  $\pm 40\%$  kebutuhan listrik Nasional) dengan total nilai aset lebih dari Rp 174 Triliun. Hal ini tentunya menjadi suatu tantangan tersendiri bagi PT. PJB untuk mampu mengoptimalkan pengelolaan aset yang dimilikinya, hal ini sesuai dengan *strategic goal* PT. PJB untuk meningkatkan *Return on Asset* (ROA) sebesar 3.2% ditahun 2021. Senada dengan hal tersebut PT. PJB Unit Pembangkitan Gresik (UP Gresik) sebagai salah satu unit bisnis terbesar yang dimiliki oleh PT. PJB dengan total kapasitas pembangkit terpasang sebesar 2.218 MW, memiliki tantangan yang sama dalam mengoptimalkan aset yang dimilikinya.

PT. PJB UP Gresik terdiri dari pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), pembangkit listrik tenaga gas (PLTG), dan pembangkit listrik tenaga gas-uap (PLTGU). Adapun besaran daya terpasang sesuai desain *commissioning* pada masing-masing pembangkit seperti tertera pada Tabel 1.

Tabel 1. Kapasitas masing – masing Unit Pembangkit di UP Gresik

No	Unit Pembangkit	Kapasitas	Total kapasitas
1	PLTG Unit 1 - 2	2 x 20 MW	40 MW
2	PLTU Unit 1 - 2	2 x 100 MW	200 MW
3	PLTU Unit 3 - 4	2 x 200 MW	400 MW
4	PLTGU Blok 1 - 3	3 x 526,26 MW	1578,78 MW

Nilai aset dari setiap unit pembangkit adalah seperti pada Tabel 2. Tabel 2 memperlihatkan bahwa nilai aset terbesar dimiliki oleh unit PLTGU BLOK 1 – 3 dengan nilai aset sebesar Rp 25.941.818.504.501,- Adapun PLTGU Blok 2 merupakan unit PLTGU yang memiliki nilai aset tertinggi.

Tabel 2. Nilai Aset masing – masing Unit Pembangkit di UP Gresik

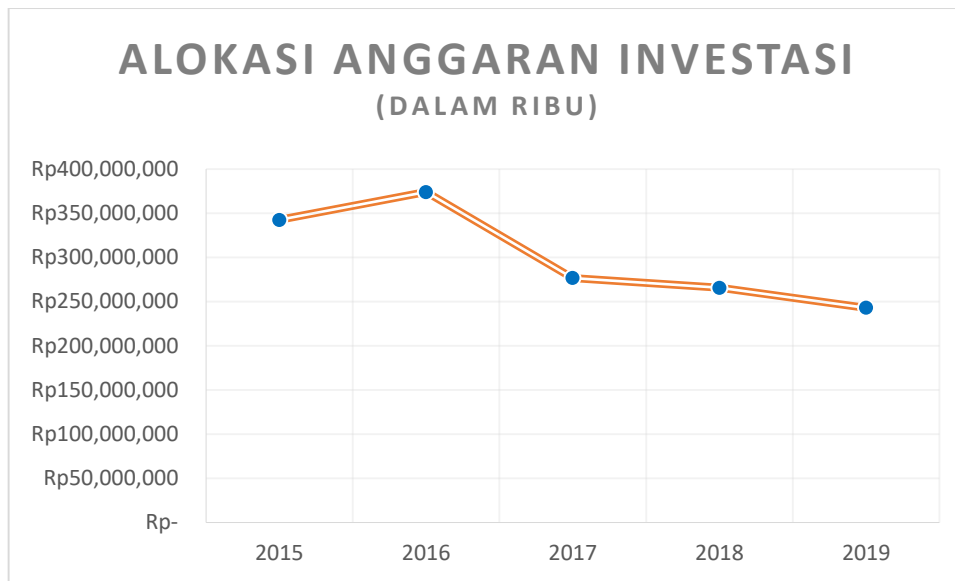
No	Unit Pembangkit	Nilai Aset
1	<b>PLTG Unit 1 – 2</b>	
	PLTG Unit 1	Rp 185,635,030,949
	PLTG Unit 2	Rp 215,583,860,485
	<i>Common</i> PLTG	Rp 10,967,080,233
2	<b>PLTU Unit 1 – 4</b>	
	PLTU Unit 1	Rp 887,354,047,999
	PLTU Unit 2	Rp 870,937,545,637
	PLTU Unit 3	Rp 3,026,079,251,610
	PLTU Unit 4	Rp 1,719,866,024,942
	<i>Common</i> PLTU	Rp 200,519,273,624
3	<b>PLTGU Blok 1 – 3</b>	
	PLTGU Blok 1	Rp 8,959,332,653,143
	PLTGU Blok 2	Rp 9,829,910,295,138
	PLTGU Blok 3	Rp 7,015,397,193,869
	<i>Common</i> PLTGU	Rp 137,178,362,351
	<b>TOTAL</b>	<b>Rp 33,058,760,619,980</b>

Dalam sistem PLTGU masing- masing blok terdiri dari konfigurasi tiga *gas turbine generator* (GT) dan satu *steam turbine generator* (ST). Untuk satu *gas turbine generator* (GT) daya terpasangnya ialah sebesar 112,45 MW, sedangkan untuk satu *steam turbine* daya terpasangnya adalah sebesar 188,91 MW. Dalam setiap unit *gas turbine* dan *steam turbine* terdiri dari beberapa peralatan utama yang digunakan untuk proses produksi listrik dan peralatan pendukung yang menunjang proses pembangkitan. Di UP Gresik *Gas turbine* memiliki 8 peralatan utama dan 26 peralatan pendukung, sedangkan *steam turbine* memiliki 15 peralatan utama dan 48 peralatan pendukung. Banyaknya jumlah peralatan yang saling berkaitan dalam sistem *gas turbine* dan *steam turbine* serta tingginya nilai aset di UP Gresik tersebut, membutuhkan sistem pengelolaan yang mampu memberikan gambaran terkait kondisi performa dan konsumsi biaya dari setiap peralatan sehingga menciptakan sistem pengelolaan aset yang optimal.

Dalam pengelolaan aset diketahui bahwa setiap peralatan yang ada memiliki keterbatasan umur atau masa pakai. Manajemen aset dilakukan dalam mengelola peralatan di suatu perusahaan dengan tujuan untuk dapat mengoptimalkan penggunaan aset dan meminimalkan biaya selama umur aset tersebut. Diperlukan suatu alat atau metode yang dapat memberikan gambaran yang jelas terkait kondisi keandalan peralatan dan penggunaan biaya dari setiap peralatan yang terdapat pada perusahaan tersebut. Sehingga pengelola aset dapat memetakan kondisi dari setiap peralatan yang ada dalam perusahaan dan mampu mengambil keputusan strategis terhadap tindak lanjut dari kondisi peralatan tersebut.

Hal ini sangat penting dilakukan di PT. PJB UP Gresik mengingat semakin ketatnya persaingan dalam bisnis pembangkitan di Indonesia saat ini. Persaingan saat ini, menuntut setiap unit pembangkit untuk dapat melakukan efisiensi dan penurunan biaya pokok produksinya. Dalam bisnis pembangkitan, khususnya di PT. PJB UP Gresik 2 komponen biaya yang cukup berpengaruh terhadap komposisi biaya pokok produksi adalah biaya investasi (penyusutan) dan biaya pemeliharaan. Biaya penyusutan dipengaruhi oleh tingkat investasi peralatan baru yang dilakukan oleh perusahaan di tahun – tahun sebelumnya, sedangkan biaya pemeliharaan adalah jumlah biaya yang dikeluarkan untuk proses pemeliharaan peralatan di unit. Manajemen aset yang berkaitan dengan pemantauan nilai keandalan peralatan dan penggunaan biaya dari setiap peralatan sangat penting dilakukan di PT. PJB UP Gresik untuk dapat menciptakan strategi pemeliharaan yang lebih efektif dari setiap peralatan dan membantu proses pengambilan keputusan terhadap pengelolaan suatu aset (*repair or replace*) yang pada akhirnya dapat menekan biaya pokok produksi listrik dari pembangkit.

Pada Gambar 1 diatas dapat dilihat kecenderungan alokasi anggaran biaya investasi UP Gresik yang semakin menurun dalam rangka menekan biaya pokok produksi. Hal ini menjadi suatu tantangan bagi UP Gresik untuk bisa mengoptimalkan proses pemeliharaan peralatan yang ada pada unitnya.



Gambar 1. Tren Anggaran Biaya Investasi UP Gresik

Dalam manajemen aset dikenal metode umur ekonomis (*Economic Life*) yang dapat digunakan untuk memperkirakan kapan suatu aset sebaiknya diganti. Perhitungan umur ekonomis suatu aset ini dapat digunakan untuk mencari titik waktu dimana total ongkos-ongkos tahunan yang terjadi pada aset tersebut adalah minimum (Igor G. Cesca, 2012). Total ongkos tahunan ini dikenal pula dengan istilah *Equivalent Annual Cost (EAC)*. *Equivalent Annual Cost* terdiri dari ongkos-ongkos tahunan yang dikonversi dari awal maupun ongkos-ongkos tahunan dari biaya operasi dan pemeliharaan aset tersebut. Penerapan perhitungan menggunakan metode umur ekonomis pada keseluruhan peralatan pembangkit dapat memberikan gambaran secara general terkait kondisi konsumsi biaya dan titik waktu penggantian optimum dari masing – masing peralatan pembangkit. Disisi lain untuk memastikan kondisi kinerja dari setiap peralatan perhitungan nilai keandalan dapat diterapkan dengan memperhatikan durasi waktu antar kerusakan dan waktu perbaikannya. Penelitian Chowdhury dan Raghavan menawarkan sebuah *framework* yang menghubungkan keandalan dan analisis ekonomi sebuah aset selama *life cycle* atau masa pakai umur aset. Aset yang diteliti oleh Chowdhury & Raghavan (2012) adalah *reliability based asset*, yaitu aset disiapkan untuk target *performance reliability* tertentu.

Pada tesis ini, penulis ingin mendapatkan gambaran peta kondisi keandalan (*reliability*) dan *equivalent annual cost* dari peralatan – peralatan yang terdapat di *Steam Turbine 2.0*. Hasil yang diharapkan dalam penelitian ini nantinya bisa memberikan gambaran tentang kondisi keandalan dan *equivalent annual cost* dari setiap peralatan di *Steam Turbine 2.0* yang dapat digunakan sebagai dasar perumusan evaluasi strategi pemeliharaan suatu peralatan dan pengambilan keputusan terhadap penggantian aset.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Dalam penelitian ini akan dilakukan analisa nilai biaya ekuivalen tahunan dan keandalan peralatan. Adapun permasalahan yang berkaitan dengan pengelolaan aset di PT PJB UP Gresik yang akan diteliti lebih lanjut dalam tesis ini adalah:

1. Bagaimana trend laju kerusakan peralatan kritis (*critical*) untuk menghitung nilai keandalan?
2. Berapa nilai biaya operasi dan pemeliharaan ekuivalen tahunan peralatan kritis (*critical*) di PLTGU ST 2.0 UP Gresik?
3. Bagaimana alternatif strategi yang tepat untuk memberikan kemudahan bagi manajemen dalam pengambilan keputusan pengelolaan aset pembangkit?
4. Bagaimana gambaran kondisi performa peralatan kritis (*critical*) di PLTGU ST 2.0 berdasarkan pendekatan nilai biaya ekuivalen tahunan peralatan dan keandalannya?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mendapatkan trend laju kerusakan peralatan kritis (*critical*) di PLTGU ST 2.0 untuk menghitung nilai keandalan.
2. Mendapatkan data nilai biaya ekuivalen tahunan (*Equivalent Annual Cost*) peralatan kritis (*critical*) di PLTGU ST 2.0 UP Gresik.
3. Mendapatkan alternatif strategi yang tepat untuk memberikan kemudahan bagi manajemen dalam pengambilan keputusan pengelolaan aset pembangkit.

4. Mendapatkan gambaran kondisi performa peralatan kritis (*critical*) di PLTGU ST 2.0 berdasarkan pendekatan nilai biaya ekuivalen tahunan peralatan dan keandalannya.

#### **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini diharapkan berguna untuk:

1. Manajemen Perusahaan:

Hasil penelitian ini diharapkan akan dapat menjadi bahan pertimbangan bagi pengambil keputusan di perusahaan pembangkit listrik khususnya pembangkit *combined cycle* dalam memutuskan dan menentukan strategi penggantian peralatan pembangkit guna mengoptimalkan biaya pokok penyediaan dan sebagai bahan pemantauan kondisi peralatan pembangkit berdasarkan data keandalan dan umur ekonomisnya.

2. Pengembangan keilmuan:

Bahan informasi bagi penelitian lanjutan di bidang industri khususnya area ketenagalistrikan untuk dapat menganalisa lebih dalam terkait sistem manajemen aset dan strategi penggantian peralatan pembangkit yang telah dilakukan selama ini di pembangkit masing-masing.

#### **1.5 Batasan Masalah**

Untuk memperoleh langkah pemecahan yang tepat dan menjaga supaya analisa yang dilakukan tetap terarah, maka ruang lingkup penelitian dibatasi pada hal-hal berikut:

1. Obyek penelitian ini adalah peralatan - peralatan pada unit steam turbine (ST 2.0) PT PJB Unit Pembangkit Gresik.
2. Data pemeliharaan dan data penggunaan biaya dari setiap peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah data tahun 2001 – 2018.
3. Obyek penelitian hanya sebatas level *equipment* dari suatu peralatan berdasarkan *equipment number* yang ada di PT PJB Unit Pembangkit Gresik
4. *Software* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *ReliaSoft Syntesis* untuk RGA versi 9, *Weibull++*, *@Risk* versi 7.5 serta *LCCM HOME*.

## **1.6 Asumsi Penelitian**

Sedangkan asumsi-asumsi yang diambil dalam penelitian ini adalah diasumsikan bahwa:

1. Proyeksi umur pembangkit hingga tahun 2056.
2. MARR yang digunakan oleh perusahaan sebesar 12.5%.
3. Tingkat Inflasi yang digunakan oleh perusahaan sebesar 6%
4. Nilai *Reliability* serta nilai waktu antar kerusakan diperoleh dari perhitungan *software* yang digunakan untuk mengolah data tersebut.
5. Proyeksi biaya pemeliharaan pada perhitungan EUAC peralatan menggunakan aplikasi @Risk.

## **1.7 Sistematika Penulisan Tesis**

Sistematika penulisan tesis ini secara garis besar dibagi kedalam lima bab, dimana setiap bab dibagi menjadi sub-sub bab berisi uraian yang mendukung isi secara sistematis dari setiap bab secara keseluruhan. Adapun sistematika tesis ini adalah:

### **BAB 1: PENDAHULUAN**

Bab ini membahas mengenai latar belakang dari penelitian, pepersamaan permasalahan, tujuan dari penelitian, manfaat yang dapat didapat dari penelitian, ruang lingkup penelitian yang meliputi batasan dan asumsi, serta sistematika penulisan penelitian.

### **BAB 2: TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini membahas mengenai teori-teori yang mendasari dan mendukung penelitian. Literatur yang diambil dari beberapa sumber, antara lain buku, jurnal, *website*, *ebook*, dan literatur pendukung lainnya.

### **BAB 3: METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini menjelaskan metodologi penelitian secara detail yang dilakukan selama pelaksanaan penelitian. Metodologi meliputi tahap pengumpulan dan



pengolahan data, interpretasi dan analisis, serta pembuatan kesimpulan dan saran.

#### BAB 4: ANALISA HASIL

Bab ini menjelaskan mengenai pengumpulan dan pengolahan data yang dilakukan oleh penulis secara sistematis. Analisis dan interpretasi terhadap hasil pengolahan data yang dilakukan. Pengumpulan data dilakukan sesuai dengan kebutuhan penelitian. Analisis dan interpretasi disesuaikan dengan tujuan penelitian.

#### BAB 5: KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi penarikan kesimpulan hasil penelitian tugas akhir serta memberikan usulan perbaikan pada penelitian selanjutnya.

#### DAFTAR PUSTAKA

#### LAMPIRAN

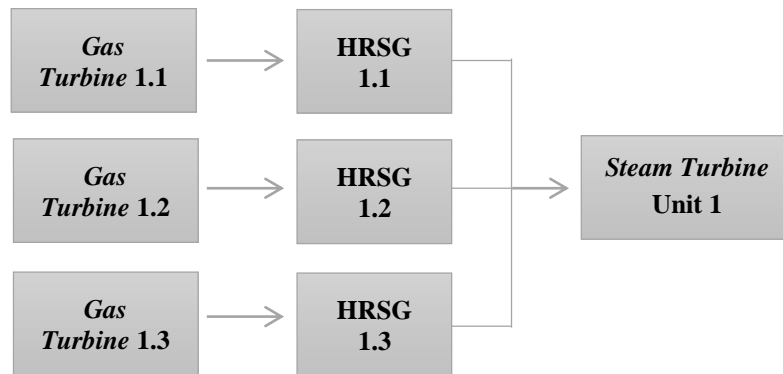
## BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Sistem Pembangkit di Unit Pembangkit Gresik

PT. Pembangkitan Jawa Bali Unit Pembangkitan Gresik atau dikenal dengan PT. PJB UP Gresik adalah salah satu unit bisnis PT. PJB yang mengelola 18 unit pembangkit yang terdiri dari 2 unit Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG), 4 unit Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dan 12 Unit Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU) yang tergabung dalam 3 blok.

#### 2.1.1 Sistem PLTGU

PLTGU atau Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap adalah pembangkit listrik siklus ganda (*combined cycle*), dimana menggabungkan 2 siklus kerja PLTG dan PLTU. Di UP Gresik terdapat 3 blok PLTGU dimana konfigurasi tiap bloknya terdiri dari 3 mesin *Gas Turbine* (GT), 3 unit *Heat Recovery Steam Generator* (HRSG) dan 1 unit *Steam Turbine* (ST). Konfigurasi ini dikenal juga dengan sistem 3 : 3 : 1, seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.

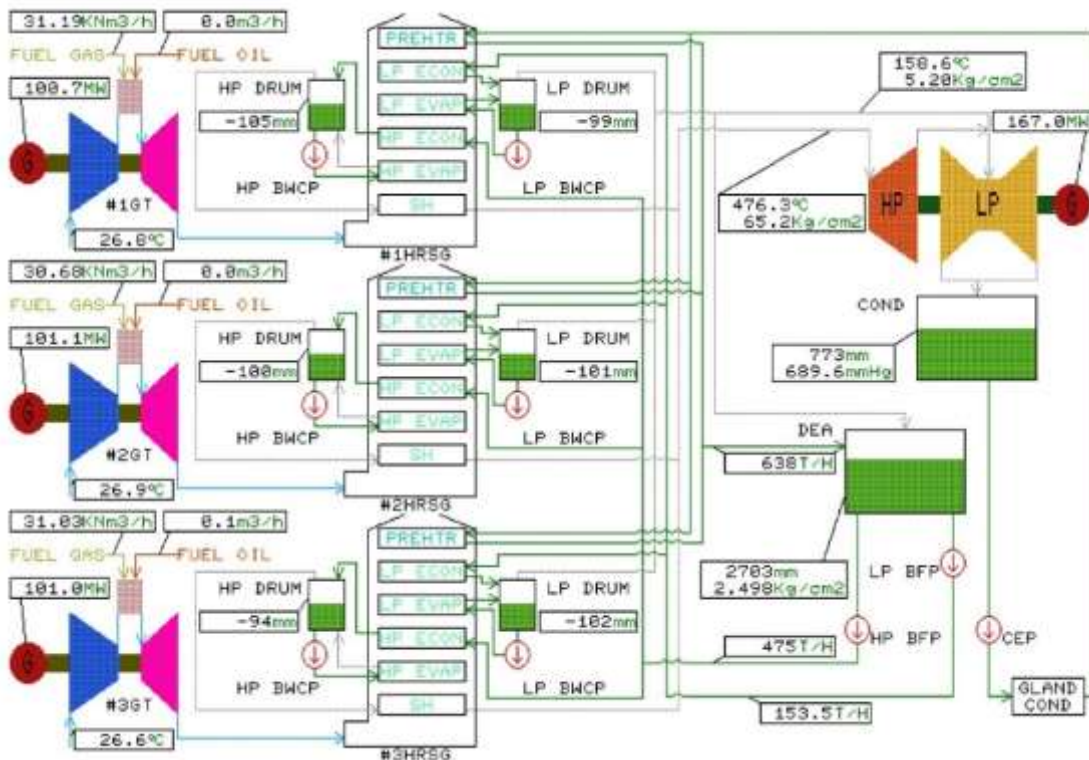


Gambar 2. Konfigurasi PLTGU UP Gresik

Pada PLTGU proses pembangkitan listrik awal terjadi pada unit *gas turbine*. Bahan bakar berupa minyak / gas bersama udara bakar ditekan dengan menggunakan kompresor. Bahan bakar dan udara bakar tersebut akan mengalami proses pembakaran pada ruang bakar yang menghasilkan tekanan. Tekanan ini kemudian yang digunakan menekan sudu-sudu turbin gas, sehingga timbul energi

mekanik yang menggerakkan dan memutar sudu turbin. Selanjutnya energi mekanik ini dikopel ke generator, menimbulkan fluks listrik, sehingga mengubah energi mekanik menjadi energi listrik.

Gas buang panas dari proses yang terjadi pada unit *Gas Turbine* tadi selanjutnya akan dilewatkan ke HRSG atau *Heat Recovery Steam Generator* yang berfungsi untuk memanfaatkan gas buang turbin gas untuk memproduksi uap bertekanan (khususnya *superheated steam*). Panas/kalor yang dipindahkan dari gas buang tersebut seluruhnya berpindah dengan cara konveksi ke air yang berada dalam pipa. Gas buang turbin gas mengalir memanasi peralatan HRSG mulai dari superheater, kemudian menuju ke evaporator, economizer dan preheater serta selanjutnya keluar melalui cerobong pembuangan. Gas buang pembakaran dari turbin dilewatkan dalam HRSG untuk menghasilkan uap tekanan tinggi (*High Pressure/HP*) dan tekanan rendah (*Low Pressure/LP*), ketel ini tanpa pembakaran, jadi murni dari gas buang pembakaran dari turbin gas.



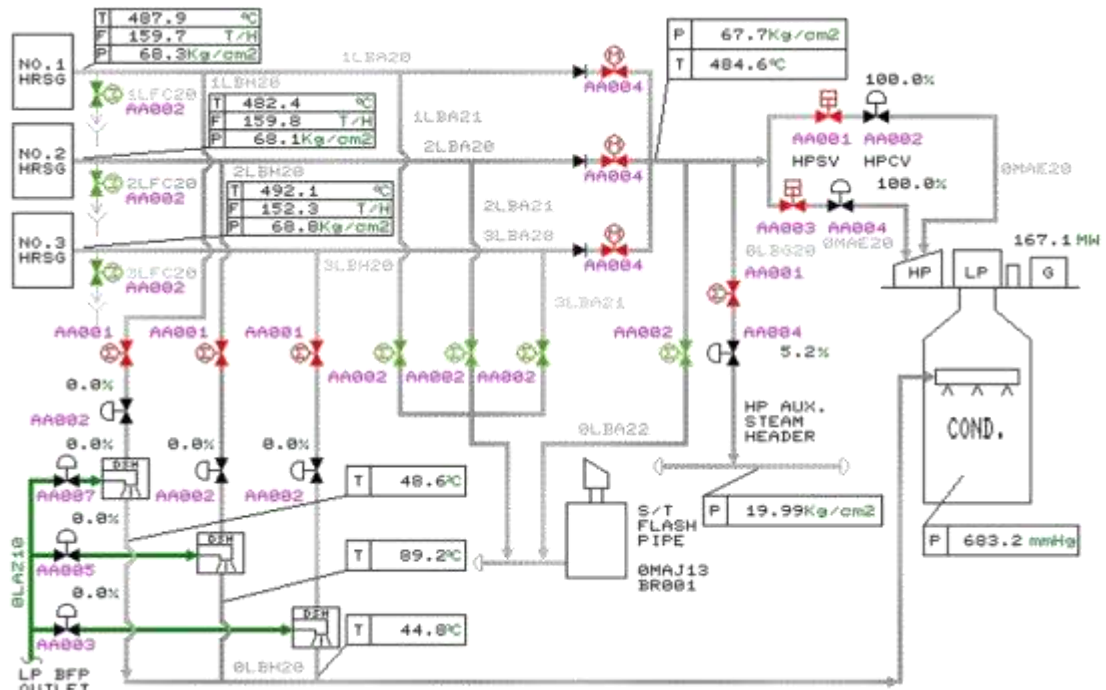
Gambar 3. Diagram alir PLTGU UP Gresik

(Sumber : HMI CCR PLTGU Unit Pembangkitan Gresik)

Uap panas yang dihasilkan dari proses pemanasan di HRSG akan masuk ke unit *Steam Turbine* yang berfungsi untuk mengubah energi panas dari uap *superheated* tadi menjadi energi mekanik dari putaran turbin. Energi mekanik dari putaran turbin tersebut akan diubah menjadi energi listrik oleh generator yang terkopel pada turbin uap tersebut. Sistem aliran pada Unit PLTGU ini dijelaskan seperti pada Gambar 3 di atas.

### 2.1.2 Sistem *Steam Turbine*

Unit *steam turbine* merupakan unit yang mengolah/memproses uap kering hasil pembakaran pada HRSG untuk selanjutnya diubah menjadi energi mekanik dan listrik. Pada sistem *steam turbine* terdapat beberapa sub-sistem siklus aliran yang menunjang proses utama dari *steam turbine* ini, diantaranya : siklus air pendingin, siklus air pengisi, siklus minyak pelumas, siklus uap dan siklus udara perapat. Pada setiap siklus terdapat beberapa peralatan yang saling berhubungan dan berkaitan satu sama lain. Adapun diagram aliran pada unit *steam turbine* seperti digambarkan pada Gambar 4 di bawah ini.



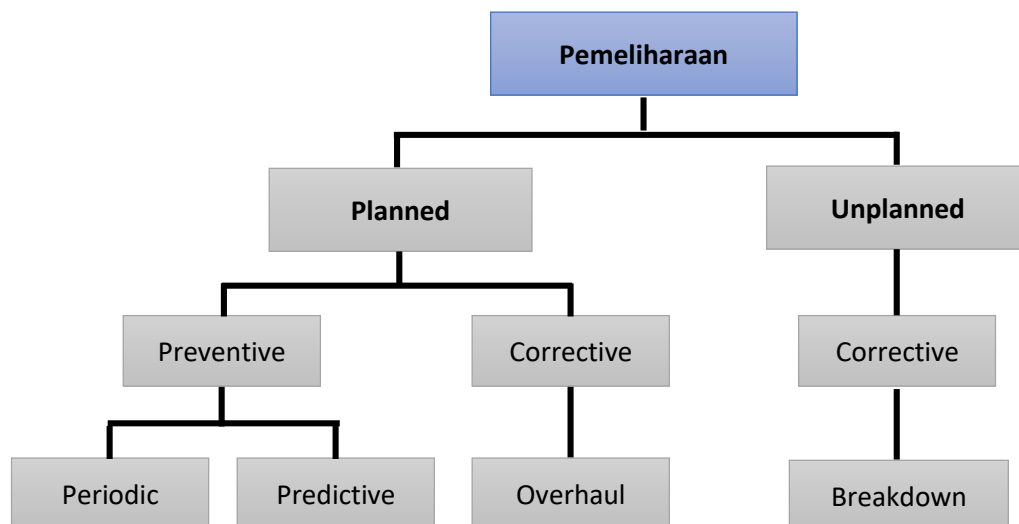
Gambar 4. Flow diagram unit *steam turbine* PLTGU UP Gresik  
(Sumber : HMI CCR PLTGU Unit Pembangkitan Gresik)

## 2.2 Pemeliharaan Pembangkit

Pemeliharaan merupakan kegiatan pengecekan dan perbaikan fungsi suatu komponen agar dapat berfungsi dengan baik tanpa kegagalan yang terjadi dalam periode waktu tertentu (Ebeling, 1997). Sedangkan definisi pemeliharaan adalah memastikan suatu komponen dapat melakukan fungsinya (Moubray, 1997). Menurut Daryus A., (2007), dalam buku Manajemen Pemeliharaan Mesin, tujuan dari pemeliharaan fasilitas yang paling utama didefinisikan sebagai berikut:

1. Untuk memperpanjang kegunaan asset,
2. Untuk menjamin ketersediaan optimum peralatan yang dipasang untuk produksi dan mendapatkan laba investasi maksimum yang mungkin,
3. Untuk menjamin kesiapan operasional dan seluruh peralatan yang diperlukan dalam keadaan darurat setiap waktu,
4. Untuk menjamin keselamatan orang yang menggunakan sarana/fasilitas tersebut.

Mekanisme pemeliharaan peralatan pembangkit di PT. PJB di bagi menjadi 2 jenis, yaitu pemeliharaan terencana (*Planned*) dan pemeliharaan tidak terencana (*Unplanned*). Adapun gambaran pemeliharaan pembangkit di PT. PJB ditunjukkan pada Gambar 5 di bawah ini.



Gambar 5. Jenis pemeliharaan pembangkit

### **2.2.1 Pemeliharaan *Preventive***

Pemeliharaan *preventive* merupakan suatu strategi pemeliharaan terencana dimana proses pemeliharaan peralatan dilakukan secara periodik dan terjadwal sebelum komponen atau peralatan mengalami kerusakan. Pemeliharaan ini bertujuan untuk menghindari adanya kerusakan secara tiba-tiba yang nantinya memerlukan tindakan korektif lebih lanjut. Strategi pemeliharaan ini muncul karena ada kalanya tindakan pemeliharaan korektif akan menimbulkan biaya lebih besar akibat *breakdown*. Strategi pemeliharaan *preventive* dapat dilakukan secara berkala dengan frekuensi tertentu.

### **2.2.2 Pemeliharaan *Predictive***

Pemeliharaan *predictive* pada dasarnya hampir sama seperti pemeliharaan *preventive*, dimana dilakukan secara terencana dan terjadwal dengan tujuan mendeteksi adanya perubahan kondisi fisik atau performa peralatan sebagai tanda kerusakan sehingga dapat langsung dilakukan perbaikan. Pendeteksian tanda kerusakan dapat dilakukan berdasarkan kondisi atau statistik.

### **2.2.3 *Overhaul***

*Overhaul* merupakan jenis pemeliharaan yang masuk dalam jenis pemeliharaan terencana. *Overhaul* adalah pemeliharaan pada peralatan termasuk dalam satu paket inspeksi untuk mengembalikan kondisi terbaik dari peralatan. *Overhaul* merupakan jenis pemeliharaan yang menyesuaikan siklus pemeliharaan peralatan utama pada unit pembangkit. Pada pekerjaan *Overhaul* dilaksanakan tindakan – tindakan inspeksi dan perbaikan sesuai dengan *standard job Overhaul*, *corrective action*, dan *project engineering*. Tujuan utama *Overhaul* adalah mengurangi gangguan peralatan, mengembalikan kondisi unit, dan efisiensi peralatan.

#### **2.2.4 Pemeliharaan *Corrective***

Pemeliharaan korektif merupakan tindakan perbaikan atau penggantian sebuah komponen atau peralatan yang dilakukan setelah terjadi kerusakan atau kegagalan. Dalam jenis strategi pemeliharaan ini tindakan perbaikan dilakukan ketika komponen atau peralatan sudah mengalami kerusakan, dengan kata lain pemeliharaan korektif bersifat reaktif yaitu harus menunggu hingga terjadi kerusakan baru akan dilakukan perbaikan untuk mengembalikan ke tingkat keandalan tertentu.

### **2.3 Konsep Keandalan**

Konsep keandalan pada sebuah aset atau peralatan secara umum digunakan untuk melihat seberapa baik performa suatu aset atau peralatan (Lewis, 1987). Keandalan dapat diukur dengan menghitung tingkat intensitas sebuah aset mengalami kerusakan. Secara teoritis, sebuah mesin akan memiliki keandalan yang tinggi apabila mesin tersebut jarang mengalami kerusakan atau *breakdown*. Aplikasi teori keandalan secara luas sangat banyak dipergunakan karena dapat digunakan untuk memprediksi peluang suatu sistem, sub sistem atau komponen agar dapat bekerja sesuai dengan maksud yang diinginkan dalam kurun waktu tertentu. Basis dari teori ini adalah penerapan aplikasi matematika dan statistika. Mengetahui keandalan suatu sistem dan lain-lainnya menjadi hal yang penting karena menyangkut biaya pemeliharaan dan pada akhirnya menyangkut profitabilitas suatu perusahaan.

#### **2.3.1 Keandalan (*Reliability*)**

Secara umum *reliability* atau keandalan dapat diartikan sebagai sebuah probabilitas dari suatu produk yang beroperasi sesuai fungsinya, untuk jangka waktu tertentu, dalam kondisi operasi tertentu, tanpa adanya *failure* atau kerusakan yang ditimbulkan (Elsayed, 2012). Dengan kata lain, keandalan digunakan sebagai ukuran kesuksesan sebuah sistem berfungsi dengan baik selama *life span*. Secara matematis jika ada komponen yang sukses pada  $t$  sebanyak  $n_s$ , dan komponen yang

rusak sebanyak  $n_f$ , maka sebuah keandalan mesin dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$R(t) = \frac{n_s(t)}{n_s(t) + n_f(t)} \quad (2.1)$$

Keterangan:

$R(t)$  : Keandalan sistem pada saat t

$n_s(t)$  : Jumlah komponen berhasil pada saat t

$n_f(t)$  : Jumlah komponen gagal pada saat t

Keandalan merupakan sebuah probabilitas, dimana keandalan bagian dari sebuah komplemen kerusakan (*failure*). Dapat dituliskan secara matematis sebagai berikut :

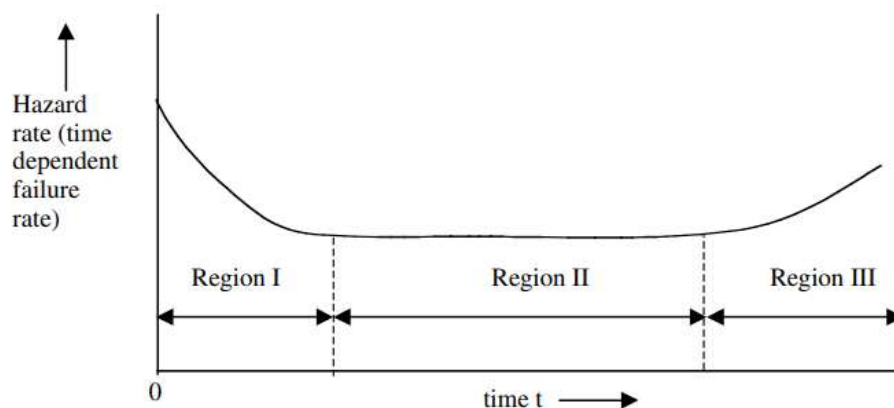
$$R(t) + F(t) = 1 \quad (2.2)$$

Keterangan:

$R(t)$  : Keandalan sistem pada saat t

$F(t)$  : Kerusakan sistem pada saat t

Konsep keandalan juga terkait dengan konsep yang disebut *Bathtub Curve*. Jenis konsep ini mewakili perilaku kegagalan berbagai item dalam fungsi waktu (Elsayed, 2012). *Bathtub Curve* memiliki tiga wilayah, yaitu wilayah I, wilayah II, dan wilayah III. Gambar 6 akan menunjukkan representasi *Bathtub Curve*.



Gambar 6. *Bathtub Curve* (Dhillon, 2010)

Wilayah I disebut sebagai wilayah *burn-in* atau wilayah *infant mortality*. Pada wilayah ini memiliki tingkat kegagalan yang tinggi ketika produk pertama kali



digunakan, kemudian menurun hingga memenuhi titik pertama wilayah II. Wilayah II disebut sebagai masa pakai, memiliki tingkat bahaya yang konstan selama periode ini hingga memenuhi titik pertama wilayah III. Wilayah III dikenal sebagai periode *wear-out*, di mana tingkat kegagalan meningkat karena waktu penggunaan lebih sering.

### 2.3.2 Distribusi Kegagalan

Laju kegagalan ( $\lambda$ ) adalah banyaknya kegagalan per satuan waktu. Laju kegagalan dinyatakan sebagai perbandingan antara banyaknya kegagalan selama periode tertentu, dengan total waktu operasi sistem, sub sistem, atau komponen serta dinyatakan sebagai berikut:

$$\lambda = \frac{f}{t} \quad (2.3)$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.4)$$

Keterangan:

$f$  = Banyaknya kegagalan selama jangka waktu operasi

$t$  = Total waktu operasi

$R(t)$  = Keandalan (reliability)

Sebelum diolah, data kegagalan harus ditentukan tipe distribusi yang tepat untuk data tersebut. Distribusi tersebut akan menentukan perhitungan keandalan yang nilainya berbeda beda untuk setiap jenis distribusi.

#### 2.3.2.1 Distribusi Normal

Distribusi normal mempunyai 2 parameter yaitu rata – rata ( $\mu$ ) dan standar deviasi ( $\sigma$ ). Fungsi padat peluangnya (*Probability density function*) adalah :

$$F(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{t-\mu}{\sigma} \right)^2 \right] dt \quad (2.5)$$

Keterangan:

$\sigma$  = Deviasi Standar

$\mu$  = Rata – rata

Fungsi keandalan distribusi normal adalah:

$$R(t) = \int_t^{\infty} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2\right] dt \quad (2.6)$$

Laju kegagalan distribusi normal adalah:

$$\lambda(t) = \frac{\exp\left[-\left(\frac{t-\mu}{2\sigma}\right)^2\right]}{\int_t^{\infty} \exp\left[-\left(\frac{t-\mu}{2\sigma}\right)^2\right] dt} \quad (2.7)$$

MTBF dari distribusi normal adalah :

$$MTBF = \mu \quad (2.8)$$

### 2.3.2.2 Distribusi Weibull

Jika distribusi kerusakan suatu sistem, sub sistem atau komponen mengikuti distribusi weibull, maka padat peluangnya adalah:

$$F(t) = \frac{\beta}{\eta} \left[\frac{t-\gamma}{\eta}\right]^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}\right] \quad (2.9)$$

Keterangan:

$\beta$  = Parameter Bentuk (Shape Parameter),  $\beta > 0$

$\eta$  = Parameter Skala (Scale Parameter),  $\eta > 0$

$\gamma$  = Parameter Lokasi

Fungsi keandalan distribusi Weibull:

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}\right] \quad (2.10)$$

Laju kegagalan distribusi Weibull:

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

MTBF untuk distribusi Weibull adalah:

$$MTBF = \gamma + \eta\Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right) \quad (2.12)$$

### 2.3.2.3 Distribusi Lognormal

Distribusi Lognormal memiliki 2 parameter yang hampir sama dengan distribusi normal yaitu rata – rata ( $t_0$ ) dan variasinya ( $s$ ). Fungsi padat peluangnya adalah:

$$F(t) = \frac{1}{t.s\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2s^2} (\ln t - t_0)^2\right] \quad (2.13)$$

Keterangan:

$t_0$  = Rata – rata

$s$  = Variansi

Fungsi keandalan dari distribusi lognormal adalah:

$$R(t) = 1 - \phi\left[\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_0}\right] \quad (2.14)$$

MTBF dari distribusi lognormal adalah:

$$MTBF = \exp[t_0 - (0,5xs^2)] \quad (2.15)$$

### 2.3.2.4 Distribusi Eksponensial

Jika distribusi kerusakannya mengikuti distribusi eksponensial, maka fungsi padat peluangnya adalah:

$$F(t) = \lambda \exp[-\lambda t] \quad t > 0, \lambda > 0 \quad (2.16)$$

Fungsi keandalan distribusi eksponensial adalah:

$$R(t) = \text{Exp} [-\lambda t] \quad t \geq 0 \quad (2.17)$$

Laju Kegagalan distribusi eksponensial adalah:

$$\text{Laju kegagalan} = \lambda \quad (2.18)$$

Sedangkan MTBF nya adalah:

$$MTBF = 1/\lambda \quad (2.19)$$

## 2.4 Reliasoft

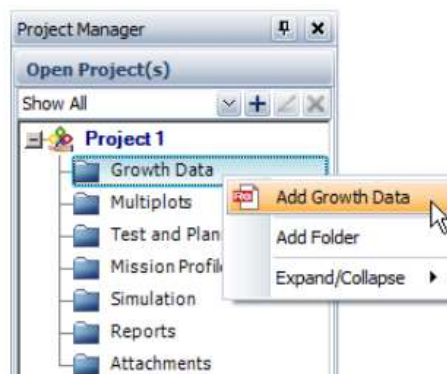
Reliasoft merupakan *software* dari HBM Prencsia yang banyak digunakan untuk analisa dan perhitungan terkait keandalan, kualitas dan pemeliharaan. *Software* Reliasoft memiliki beberapa *platform* didalamnya yang dapat digunakan dalam perhitungan dan analisis performa peralatan, analisis data aktual peralatan (*life data analysis*), pengujian umur peralatan, *reliability block diagram*, FMEA dan lainnya. Dalam penelitian ini terdapat beberap *platform* yang digunakan untuk menghitung nilai keandalan peralatan diantaranya adalah RGA dan Weibul++.

### 2.4.1 RGA

RGA merupakan *platform* yang terdapat pada *software* reliasoft yang dapat digunakan untuk menghitung dan menganalisa berbagai model pertumbuhan keandalan dan dapat menganalisis data dari pengujian pada tahap pengembangan maupun sistem yang dapat diperbaiki (*repairable systems*). RGA juga dapat digunakan untuk menghitung proyeksi pertumbuhan, perencanaan, dan manajemen pertumbuhan keandalan. Berikut merupakan cara – cara yang dilakukan dalam penggunaan RGA

1. Membuat lembar kerja *Growth Data*

Klik kanan pada folder *Growth Data* dan pilih **Add Growth Data**

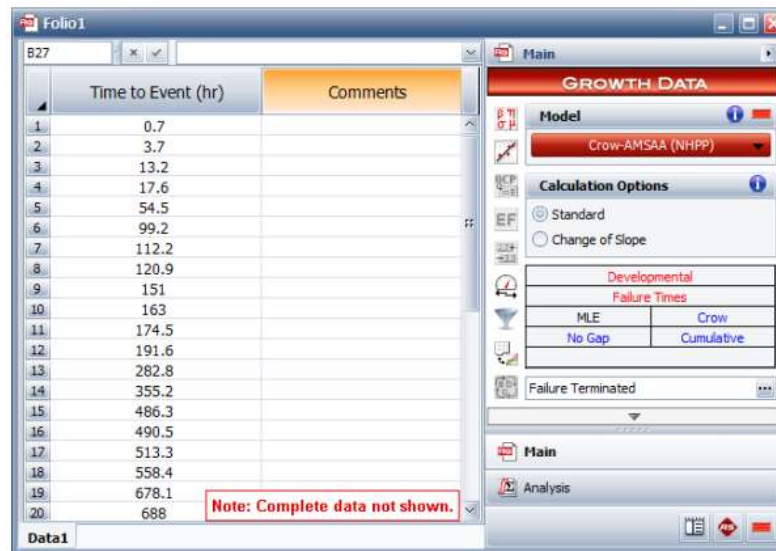


Gambar 7. *Interface* project pada RGA

Pada menu pengaturan, pilih tipe data yang diinginkan. Kemudian klik Berikutnya untuk mengatur unit untuk nilai (jam kerusakan, siklus, dll.) dan preferensi lainnya.

## 2. Memasukkan data

Masukkan data dan gunakan panel kontrol untuk menentukan model pertumbuhan dan pengaturan analisisnya.



Gambar 8. *Interface* lembar kerja pada RGA

## 3. Analisis Data

Klik ikon *Calculate* pada panel kontrol. Hasil perhitungan akan ditampilkan pada tampilan ringkasan analisis.

The screenshot shows the 'Results' window of the RGA software. It contains a table with the following data:

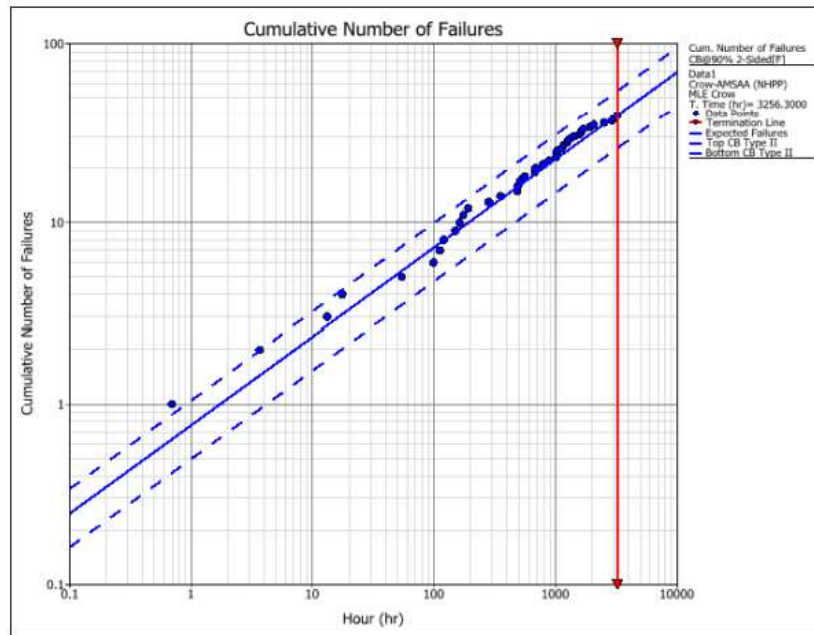
Parameters	
Beta	0.489752
Lambda (hr)	0.761544
Growth Rate	0.510248
DMTBF (hr)	166.221749
DFI	0.006016
Statistical Tests	
Significance Level	0.1
CVM	Passed
Other	
Termination Time (hr):	3256.300000

Gambar 9. Tampilan hasil ringkasan analisis pada RGA

## 4. Menampilkan *plot* Diagram

Klik ikon *Plot* pada panel kontrol untuk membuka lembar plot.

Untuk menampilkan batas kepercayaan (*Confidence Bounds*), klik kanan plot, pilih *show Confidence Bounds*

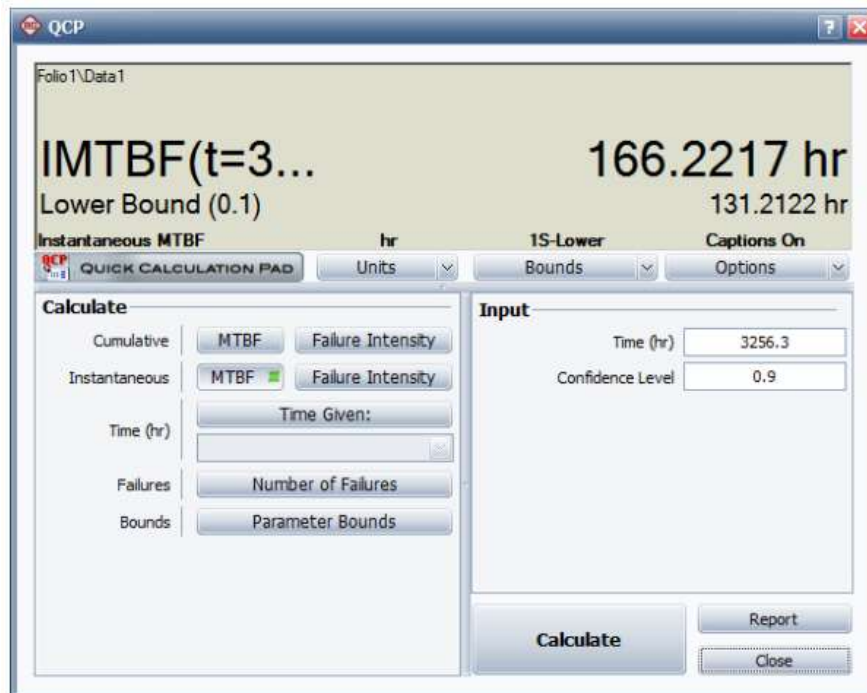


Gambar 10. Tampilan *plot* pada RGA

5. Menghitung matriks

Klik ikon QCP pada panel kontrol untuk membuka *Quick Calculation Pad*.

Pada menu ini dapat dilihat nilai MTBF, *reliability* dan lain – lain.



Gambar 11. Tampilan hasil perhitungan matriks pada RGA

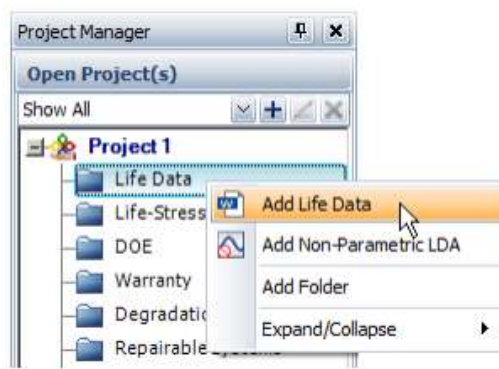
## 2.4.2 Weibull++

Weibull ++ merupakan *platform* pada reliasoft yang sangat komprehensif untuk analisis keandalan data aktaul (*life data analysis*). Pada Weibull++ dapat dimasukkan berbagai jenis data hidup peralatan dan semua distribusi masa pakai produk yang umum digunakan. Aplikasi ini juga dapat digunakan untuk analisis reliabilitas terkait seperti analisis data degradasi, perbandingan kekuatan-stres, desain uji reliabilitas, dan desain eksperimen (DOE).

Lembar kerja Weibull++ *life data* memungkinkan Anda untuk menyesuaikan distribusi statistik dengan data waktu kegagalan untuk memahami nilai keandalan suatu peralatan atau untuk membuat proyeksi kinerja peralatan di masa mendatang. Dari analisis ini, dapat diperoleh informasi keandalan suatu produk seperti probabilitas kegagalan, keandalan, usia rata-rata atau tingkat kegagalan (*failure rate*). Langkah-langkah dasar untuk menggunakan folio *life data* pada Weibull++ adalah :

1. Membuat lembar kerja *life data*

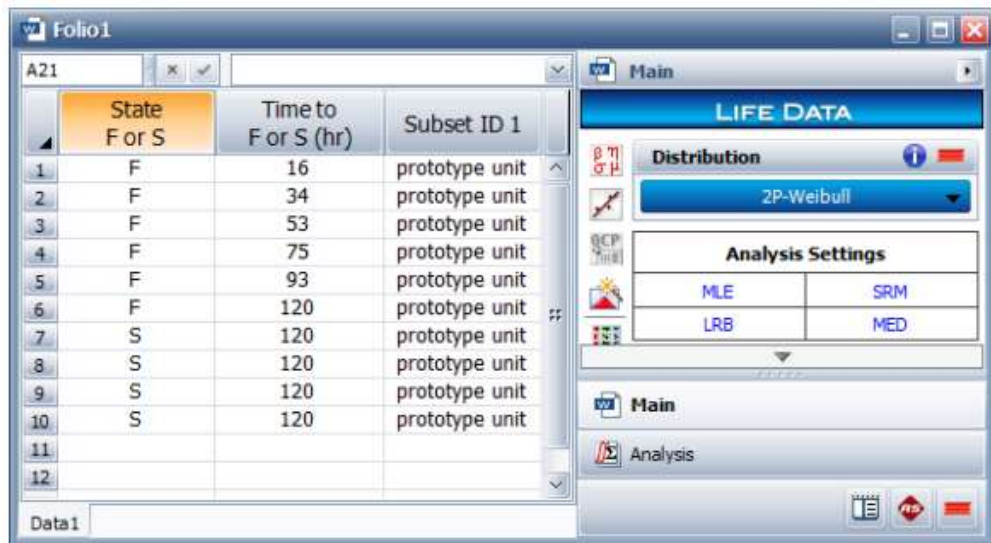
Klik kanan pada folder *life data* di project explorer dan pilih **Add Life Data**. Pada jendela pengaturan, pilih tipe data yang diinginkan dan satuan nilai waktu/fungsi lainnya.



Gambar 12. Membuat lembar kerja *life data* pada Weibull++

2. Memasukan data

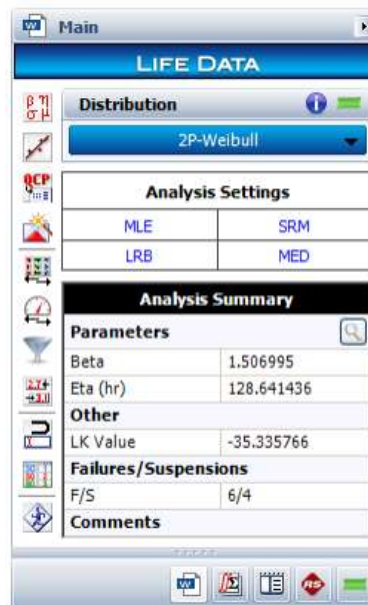
Masukkan data dan gunakan panel kontrol untuk menentukan jenis distribusi kegagalan dan pengaturan analisisnya.



Gambar 13. Lembar kerja life data pada Weibull++

3. Analisa data

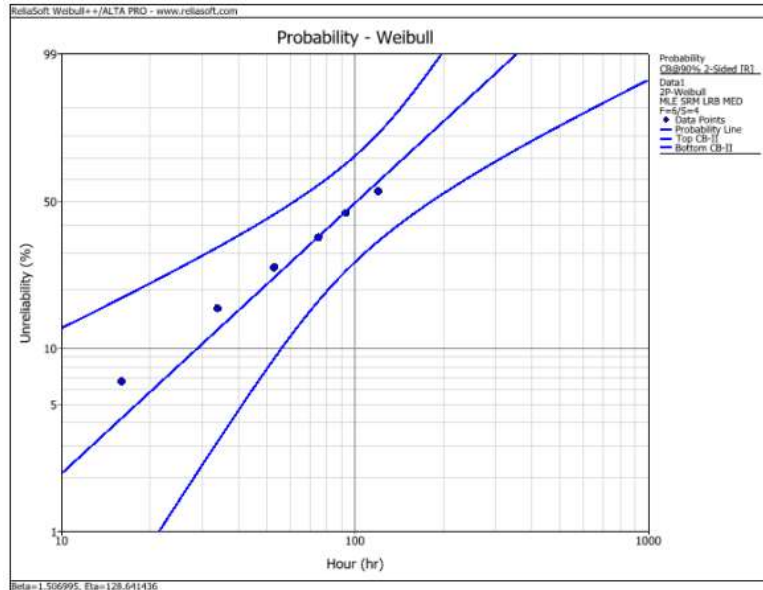
Klik ikon *Calculate* pada panel kontrol. Pada area *Analysis Summary* menampilkan parameter distribusi.



Gambar 14. Tampilan *Analysis Summary* pada Weibull++



4. Menampilkan Plot Diagram



Gambar 15. Tampilan plot diagram pada Weibull++

Klik ikon **Plot** pada panel kontrol untuk membuka lembar plot.

Untuk menampilkan batas kepercayaan (*Confidence Bounds*), klik kanan *plot*, pilih *show Confidence Bounds*

5. Menghitung hasil analisis

Klik ikon **QCP** pada panel kontrol untuk membuka *Quick Calculation Pad*.



Gambar 16. Tampilan hasil analisis pada Weibull++

## 2.5 *Life Cycle Cost Analysis*

*Life Cycle Cost Analysis* (LCCA) adalah suatu metode perencanaan jangka panjang yang efektif untuk dapat mengoptimalkan adanya biaya kehilangan yang tidak direncanakan (Sliter, 2003). Biaya siklus hidup digunakan dalam sektor industri disebabkan oleh beberapa alasan, seperti terjadinya peningkatan biaya operasi dan pemeliharaan, keterbatasan anggaran, adanya kenaikan inflasi serta meningkatnya efektivitas biaya di antara penggunaan produk, peralatan, dan sistem (Dhillon, 2010). LCCA adalah total biaya kepemilikan dan operasi produk, fasilitas atau suatu sistem pada rentang waktu penggunaan. Dalam menentukan LCCA merupakan hal yang penting untuk mengidentifikasi distribusi biaya. Misalnya, biaya akuisisi merupakan bagian kecil dari total biaya investasi dan pengoperasian sistem (Farr, 2011).

Konsep biaya yang melekat dalam sebuah produk terbagi menjadi tiga kategori sebagai berikut (Barringer & Weber, 1996).

1. Biaya Akuisisi
2. Biaya Operasional dan perawatan
3. Biaya *Disposal*

Biaya sebenarnya dari sebuah peralatan (dalam hal ini turbin), didapatkan dengan menggunakan LCCA. Metode ini menghitung keseluruhan biaya mulai dari biaya awal, biaya penggantian, biaya operasional dan pemeliharaan, nilai sisa yang terjadi selama mesin tersebut ada.

Prosedur LCCA adalah sebagai berikut (Woodward, 1997).

- a. Unsur-unsur biaya yang diperhatikan adalah semua arus kas yang terjadi selama siklus hidup aset. LCCA aset mencakup semua pengeluaran yang terjadi, mulai dari akuisisi hingga pembuangan di akhir hidupnya. Secara umum semua biaya harus dimasukkan namun pendapat berbeda-beda tergantung kebutuhan dan ketersediaan data.
- b. Mendefinisikan struktur biaya melibatkan pengelompokan biaya sehingga dapat mengidentifikasi potensial *trade-off* dalam mencapai nilai LCCA yang optimal. Sifat struktur biaya yang ditetapkan tergantung pada kedalaman analisis yang diperlukan.

- c. Memperkirakan hubungan biaya dengan perhitungan matematika yang menggambarkan perkiraan biaya sebuah item atau aktivitas sebagai fungsi dari satu atau lebih variabel independen.
- d. Menetapkan metode formulasi LCCA yaitu memilih metodologi yang tepat untuk mengevaluasi LCCA dari aset yang dimiliki.

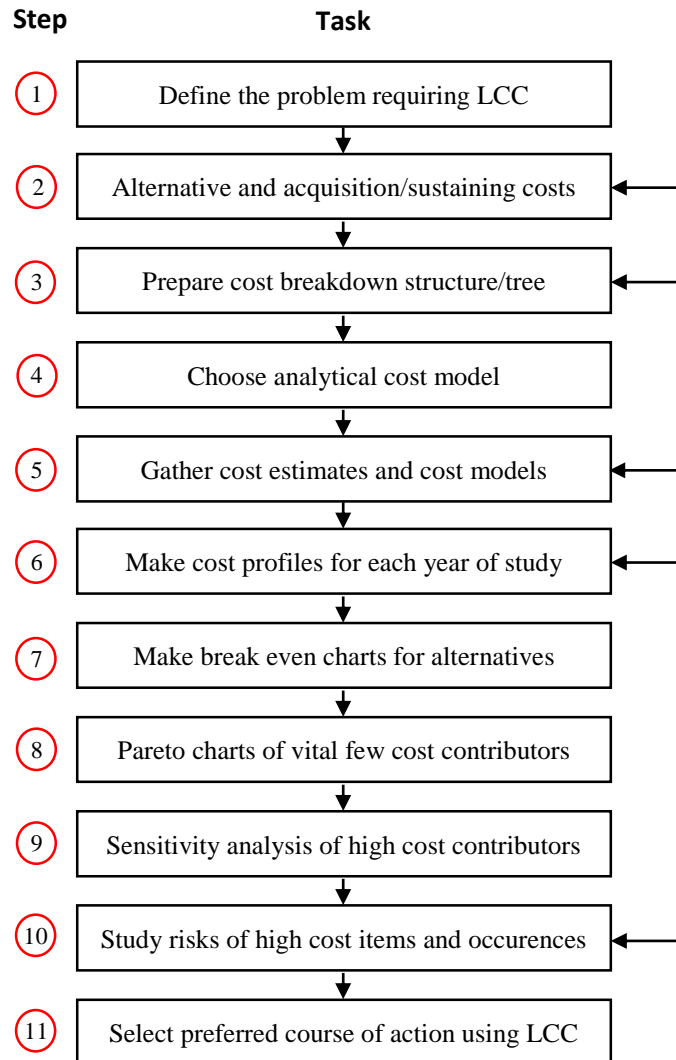
Analisis LCCA biasanya berdasarkan *cost inputs*. Analisis LCCA memasukkan seluruh biaya yang akan dievaluasi. Biaya yang dimasukkan diantaranya adalah biaya pembelian/investasi, biaya operasional dan pemeliharaan, biaya konsumsi energi, dan biaya lain-lain yang relevan (Frenning, 2001).

Tabel 3. *Life Cycle Cost Of Analysed Assets*

Jenis Biaya	Keterangan
Biaya Investasi atau Akuisisi	Biaya pengamatan dan perencanaan suatu pekerjaan
	Biaya proyek
	Biaya tanah atau perluasan area kerja jika investasi ini diperlukan
	Biaya terkait dengan penempatan bangunan / peralatan/ mesin
	Biaya lain-lain
	Biaya investasi lain-lain
	Biaya operasional dalam penggunaan suatu aset atau peralatan
Biaya operasional	Biaya asumsi energi
	Biaya air dan limbah air
	Biaya pembuangan limbah
	Biaya asuransi dan <i>service</i>
	Biaya keamanan dan keselamatan
	Biaya administrasi
	Biaya kebersihan
Biaya Pemeliharaan	Pelayanan dalam melakukan inspeksi, jaminan inspeksi
	Rencana pemeliharaan ketika mengalami <i>downtime</i> dan <i>breaktime</i>
Biaya Pembaruan	Biaya perbaikan
	Depresiasi
Biaya Pemberhentian Peralatan	Biaya pemberentian peralatan/bangunan/mesin
	Biaya bahan baku

Tabel 3 berisikan tentang jenis biaya yang digunakan dalam *life cycle cost*. Jenis biaya yang digunakan terdiri dari biaya investasi dan akuisisi, biaya

operasional, biaya perawatan, biaya pembaruan, dan biaya pemberhentian peralatan.



Gambar 17. Proses LCCA (Barringer,1998)

Berdasarkan Gambar 17, berikut akan dijelaskan mengenai langkah dasar LCCA menurut Barringer (1998).

- a. Mengidentifikasi permasalahan yang akan dianalisis.

Langkah permulaan melibatkan tahap pendefinisian masalah. Kebutuhan untuk LCCA dalam mengevaluasi alternatif teknologi sebagai bagian dari studi kelayakan yang mengarah pada pendekatan sistem desain, alternatif kebijakan perawatan, alternatif skenario operasi, alternatif metode distribusi

dan transportasi dan lainnya. Peneliti perlu untuk mengidentifikasi masalah dan menjelaskan pendekatan yang dilakukan dalam pemecahan masalah.

b. Identifikasi alternatif-alternatif yang layak.

Langkah penting dalam menyelesaikan LCCA yaitu mengidentifikasi alternatif yang layak dan proyeksi dari setiap alternatif dalam konteks keseluruhan daur hidup. Analisis perlu menetapkan kebutuhan sistem operasi dan konsep perawatan pada saat dilaksanakan analisis.

c. Mengembangkan *Cost Breakdown Structure* (CBS).

Langkah berikutnya adalah mengembangkan struktur dari alokasi atau pengumpulan biaya berhubungan dengan aktivitas dari setiap alternatif. CBS terdiri dari biaya penelitian dan pengembangan, biaya konstruksi dan produksi, biaya operasional dan dukungan perawatan, biaya penghentian dan pembuangan produk, serta pemilihan modal biaya yang tepat.

d. Pemilihan model biaya yang tepat.

Pemilihan model biaya yang dimaksud adalah biaya yang nyata dan sederhana. Biaya sederhana dengan beberapa variasi dalam perbaikan dan pergantian, kompleks dengan variasi acak dan lain sebagainya.

e. Pengembangan perkiraan biaya.

Perkiraan biaya merupakan sebuah pendapat yang berdasarkan analisis dan penentuan dari sebuah peralatan, sistem atau struktur. Pendapat ini bisa datang secara formal maupun informal dengan beberapa metode. Perkiraan biaya dapat menggunakan prosedur teknis dan analogi. Perkiraan biaya dengan prosedur teknis melibatkan para teknisi yang memulai dari sebuah desain dan spesifik untuk setiap tugas produksi atau konstruksi, termasuk peralatan dan perlengkapan yang dibutuhkan.

- f. Pembuatan profil biaya setiap tahunnya.

Tahap ini mengidentifikasi setiap aktivitas dalam masa siklus hidup yang akan mengeluarkan biaya. Terdiri dari fungsi-fungsi yang berhubungan dengan perencanaan, penelitian dan pengembangan, uji dan evaluasi, produksi, konstruksi, distribusi produk, penggunaan operasional produk/sistem, perawatan dan dukungan logistik dan lain sebagainya. Setiap kegiatan akan dikaitkan dengan kategori biaya yang terdapat pada CBS. Unsur biaya yang muncul diproyeksikan pada waktu yang akan digunakan nantinya. Nilai inflasi merupakan faktor yang penting untuk dipertimbangkan pada setiap tahunnya dalam pengembangan profil biaya. Hal ini dikarenakan nilai inflasi merupakan faktor yang sangat signifikan dalam kenaikan biaya produk juga dengan pengurangan daya beli dari uang.

- g. Pembuatan *Breakeven Charts* untuk menyederhanakan rincian ke dalam bentuk waktu uang.

Alternatif-alternatif dengan basis biaya akan dibandingkan, sehingga akan terlihat bahwa salah satu alternatif akan lebih disenangi daripada alternatif lain. Namun para peneliti harus menentukan suatu waktu, dimana satu alternatif akan lebih baik daripada alternatif lain, sebelum tiba pada keputusan final. Misalnya, alternatif A akan lebih disukai daripada B, namun setelah 10 tahun, alternatif A tidak lebih baik dari B, maka apakah alternatif A tetap dipilih atau tidak.

- h. Menentukan item yang memberikan kontribusi biaya tinggi.

Tahap ini mengidentifikasi item mana saja yang menimbulkan potensi risiko dan mana saja yang mungkin untuk dikembangkan dengan tujuan mengurangi keseluruhan biaya siklus hidup.

- i. Analisis sensitivitas.

Ketika menentukan item yang berkontribusi tinggi terhadap biaya dan juga faktor utamanya, maka selanjutnya melakukan pemelihan input data yang spesifik. Data tersebut yang nantinya secara signifikan akan mempengaruhi hasil analisis.

## 2.6 Manajemen Aset

Manajemen aset merupakan sebuah pola pikir yang melihat *physical assets* sebagai sebuah objek dan sistem yang merespon perubahan lingkungan, dimana aset akan semakin tua dan berubah seiring dengan penggunaannya. Manajemen aset melihat bahwa sebuah *physical asset* memiliki *life cycle*. Aset yang dibahas dalam sebuah manajemen aset adalah physical assets seperti bangunan, infrastruktur, pembangkit listrik dan lain-lain. Manajemen Aset tidak berbicara mengenai financial assets, human assets ataupun personal assets. Pemeliharaan dan perawatan merupakan bagian dari pengelolaan suatu aset, selain itu perancangan, pengadaan, instalasi, operasi, dan sebagainya juga merupakan bagian dari pengelolaan aset (Davis, 2014).

Manajemen aset penting untuk dilakukan dengan alasan sebagai berikut.

1. Mengurangi total biaya operasi dari aset.
2. Mengurangi total capital costs dari investasi aset.
3. Meningkatkan performansi operasi aset.
4. Mengurangi potensi dampak kesehatan selama mengoperasikan aset.
5. Mengurangi risiko keselamatan selama mengoperasikan aset.
6. Meminimalkan dampak lingkungan selama mengoperasikan aset.
7. Menjaga dan meningkatkan reputasi organisasi pemilik aset.
8. Meningkatkan performansi regulatori organisasi pemilik aset.
9. Mengurangi risiko legal terkait pengoperasian aset.

Berikut *life cycle* dari *physical assets* menurut Davis disajikan pada Gambar 18.



Gambar 18. *Life Cycle Aset* (Davis, 2014)

*Acquire* merupakan fase yang meliputi perencanaan, desain dan *procurement* dari aset. *Commission* merupakan tahap yang meliputi aktivitas mulai dari pemasangan atau pembuatan aset dan memastikan bahwa aset tersebut berfungsi dengan baik. *Operate* merupakan fase yang dimana aset sudah beroperasi dengan melakukan pemeliharaan, perbaikan dan peningkatan potensial untuk dapat memenuhi ketika terdapat perubahaan kondisi pada fase ini juga dilakukan pemantauan dan lain-lain. *Dispose* merupakan fase penghapusan aset secara efektif dari operasi dimana aset sudah tidak digunakan lagi. Pembuangan atau daur ulang aset atau komponennya dalam perencanaan digunakan untuk aset pengganti.

Dalam manajemen aset, horison waktu pengelolaan suatu aset/peralatan sangat penting untuk dipahami. Pada manajemen aset terdapat dua istilah terkait usia/umur peralatan, yaitu: umur teknis dan umur ekonomis. Umur teknis adalah lama waktu suatu mesin/peralatan dapat dipakai secara teknis. Umur ekonomis suatu aset adalah titik waktu di mana total ongkos-ongkos tahunan yang terjadi adalah minimum. Total ongkos-ongkos tahunan ini ongkos-ongkos tahunan yang dikonversi dari ongkos awal maupun ongkos-ongkos tahunan dari biaya operasi dan perawatan. Dengan kata lain, umur ekonomis adalah suatu periode yang memberikan Equivalent Uniform Annual Cost (EUAC) minimum. Ongkos-ongkos tahunan untuk operasi dan perawatan biasanya meningkat dengan berjalannya waktu pemakaian dari alat tersebut, sedangkan ongkos-ongkos tahunan dari biaya investasi akan menurun dengan semakin panjangnya masa pakai dari atau alat tersebut. (I Nyoman Pujawan, 2009 )



## 2.7 Konsep *replacement analysis*

Setiap peralatan yang digunakan memiliki keterbatasan umur atau masa pakai sehingga ketika peralatan telah digunakan hingga habis masa pakainya maka akan diganti dengan peralatan yang serupa. Kebijakan ini menentukan kapan suatu alat harus diganti dimana tidak hanya dapat dilihat dari kondisi fisik pada alat tersebut, tetapi juga mempertimbangkan umur ekonomis yang berkaitan dengan alternatif pemakaian atau penggantinya dengan alat yang baru. Penggantian suatu peralatan atau aset adalah suatu keputusan yang mempertimbangkan apabila aset sudah usang. Kegagalan dalam mengambil suatu keputusan akan mempengaruhi perlambatan atau penghentian operasi. Masalah dalam penggantian peralatan adalah melakukan penggantian saat ini juga atau menunda penggantian peralatan dengan peralatan yang lebih baru dan lebih baik. (Park, 2007)

Menurut Sullivan, William G, et.al. (2004), terdapat tiga alasan dasar mengapa suatu penggantian perlu dilakukan, yaitu:

1. *Obsolescence*
2. *Depletion*
3. *Deterioration due to aging*

*Obsolescence* atau keusangan merupakan perubahan kondisi aset yang dipengaruhi oleh lingkungan eksternal terhadap aset tersebut. Keusangan terjadi sebagai dampak dari *continuous improvement* dari peralatan-peralatan produksi. Kebutuhan untuk *improvement* secara terus menerus menyebabkan sebuah aset dapat diganti pada saat aset tersebut masih berada dalam kondisi operasi yang baik. Keusangan dari suatu aset atau peralatan karena berkembangnya alat-alat baru dengan tingkat teknologi yang lebih canggih dan kapasitas lebih besar.

*Depletion* merupakan hilangnya nilai pasar aset secara bertahap karena aset digunakan hingga pada  $n$  (umur aset). *Depletion* dapat disebut juga sebagai depresiasi atau penyusutan, dimana nilai aset akan habis sampai umur desain aset.

*Deterioration due to aging* atau kerusakan akibat penuaan dapat menyebabkan pada menurunnya *service* yang diberikan, meningkatnya biaya operasi, meningkatnya biaya pemeliharaan atau kombinasi antara ketiganya. Salah satu akibat dari menurunnya aset yang diberikan adalah kerusakan aset atau

peralatan terjadi lebih sering dan setiap kerusakan membutuhkan waktu lama untuk memperbaikinya. Ada beberapa konsep dasar dalam melakukan sebuah analisis penggantian suatu peralatan, antara lain konsep *defender* dan *challenger*, konsep *sunk cost*, sudut pandang dari luar sistem, dan umur ekonomis suatu peralatan.

### **2.7.1 Konsep Defender dan Challenger**

Analisis penggantian digunakan untuk menentukan apakah peralatan atau aset yang digunakan saat ini perlu diganti dengan peralatan yang lebih baru dan lebih ekonomis. Kapan penggantian sebaiknya dilakukan, dalam hal ini *defender* sebagai aset yang dipertimbangkan untuk diganti sedangkan *challenger* sebagai peralatan atau aset yang diusulkan untuk mengganti aset saat ini. Aset baru selalu memiliki biaya investasi yang lebih tinggi dengan biaya operasional dan perawatan lebih rendah, sedangkan untuk aset lama biasanya biaya operasional dan perawatan lebih tinggi. Nilai sekarang pada aset lama merupakan harga jual dan dianggap sebagai nilai awal dari *defender*. Nilai awal dari *challenger* adalah semua biaya yang diperlukan agar alat atau aset tersebut dapat dioperasikan.

### **2.7.2 Konsep Sunk Cost**

*Sunk cost* merupakan ongkos yang terjadi pada masa yang lalu dan tidak dapat tertutupi sehingga tidak dipertimbangkan dalam analisis-analisis ekonomi teknik yang berkaitan dengan kondisi masa yang akan datang. Dalam analisis penggantian aset, konsep *sunk cost* tidak dipertimbangkan atau diabaikan karena hanya kondisi mendatang dari suatu aset yang akan dipertimbangkan. *Sunk cost* juga disebut sebagai biaya hangus di mana tidak memiliki relevansi dengan keputusan penggantian yang harus dibuat (kecuali ketika mempengaruhi pajak penghasilan) (Sullivan, et al., 2003).

$$\text{Sunk Cost} = \text{nilai buku saat ini} - \text{nilai jual saat ini} \quad (2.20)$$

Nilai buku suatu aset adalah nilai aset yang tercatat atau tercantum pada catatan akuntansi, yaitu dapat disebut sebagai nilai awal dari aset tersebut yang

sebelumnya sudah dikurangi dengan nilai total depresiasi yang telah terjadi sampai saat itu.

### 2.7.3 Sudut Pandang dari Luar Sistem

Sudut pandang pihak luar cukup objektif dan lebih disukai karena membandingkan performansi ekonomi dari aset yang dimiliki (*defender*) dan alternatif pembandingnya (*challenger*), pihak ketiga yang bertindak seolah – olah tidak merasa memiliki aset tersebut. Pihak ketiga bebas menentukan keputusan apakah akan memilih *defender* dengan ongkos awal sebesar harga jualnya saat itu atau memilih *challenger* sebagai alternatif lain. Pendekatan sudut pandang pihak luar menganggap nilai sisa atau nilai jual dari suatu aset pada saat itu merupakan biaya investasi dari *defender*.

### 2.7.4 Umur Ekonomis Suatu Peralatan

Perhitungan umur ekonomis suatu aset digunakan dalam perkiraan aset tersebut sebaiknya diganti atau tidak. Umur ekonomis suatu aset merupakan titik waktu di mana total biaya-biaya tahunan yang terjual adalah pada nilai minimum. Total biaya-biaya tahunan ini terdiri dari *capital recovery* (CAPEX) dan O&M *cost* (OPEX). Biaya O & M *cost* atau biaya operasional dan perawatan akan meningkat dengan berjalannya waktu pemakaian dari alat tersebut. Biaya-biaya tahunan disebut sebagai *Equivalent Uniform Annual Cost* (EUAC), semakin panjang masa pakai dari suatu aset atau peralatan maka EUAC akan semakin menurun. Berikut rumus konversi cash flow menjadi annual cash flow yang dapat digunakan :

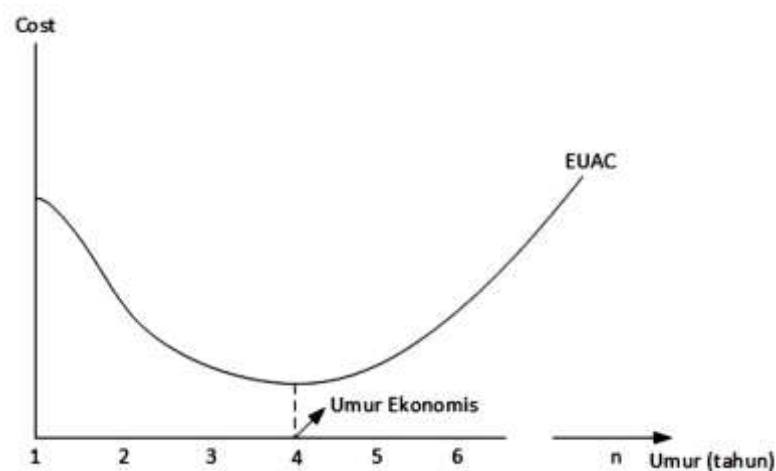
$$A = F(A/F, i\%, N) \quad (2.21)$$

Atau

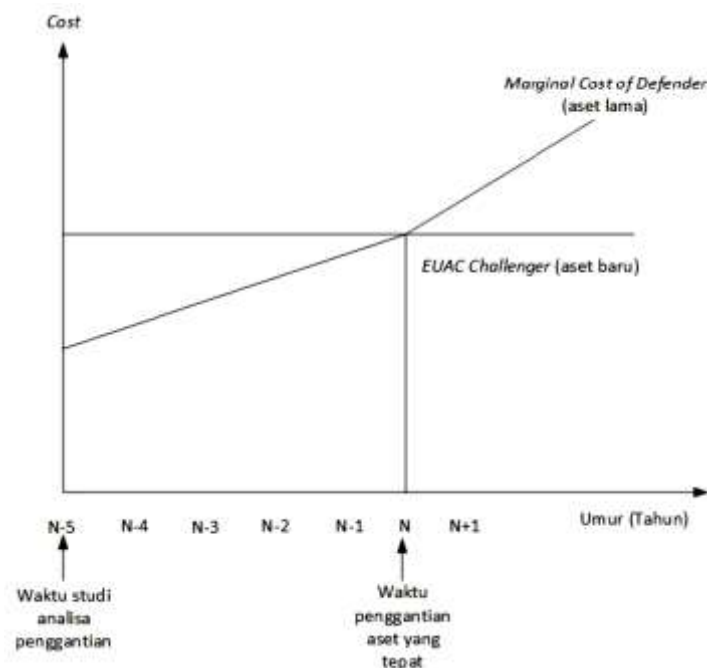
$$A = P(A/P, i\%, N) \quad (2.22)$$

Dalam menentukan kapan suatu aset akan diganti yaitu dengan menentukan umur ekonomis. Perhitungan umur ekonomis suatu aset diperoleh dengan cara melakukan perhitungan EUAC. Perhitungan EUAC yang digunakan dalam analisis

penggantian dapat dibedakan menjadi dua yaitu, ketika umur aset atau masa pakai aset diketahui dan ketika masa pakai aset tidak diketahui. Pada saat umur aset diketahui, maka perbandingan EUAC digunakan untuk memilih alternatif terbaik diantara defender vs challenger. Kondisi lain saat umur aset tidak diketahui, maka analisis EUAC dapat digunakan untuk memberikan saran bahwa umur ekonomis akan terjadi dimana EUAC minimum atau ketika biaya-biaya ekuivalen tahunan yang muncul minimum (titik *Economic Service Life*), seperti ditunjukkan pada Gambar 19 di bawah ini.



Gambar 19. Grafik Umur Ekonomis



Gambar 20. Perbandingan *Defender* dengan *Challenger* (Sullivan, et al.,2003)

## 2.8 Posisi Penelitian

Dalam penelitian ini penulis mencari referensi strategi penggantian peralatan (*Replacement Stratgy*) yang telah banyak diterapkan oleh industri – industri terkait dalam pengelolaan management asetnya. Referensi difokuskan pada pemilihan metode yang digunakan oleh setiap industri dalam merumuskan keputusan penggantian asetnya. Pada penelitian sebelumnya banyak ditemukan penggunaan perhitungan nilai umur ekonomis dan biaya siklus hidup peralatan yang menjadi acuan dalam penentuan proses penggantian peralatan. Selain itu, metode perhitungan keandalan (*reliability*), evaluasi *maintanability* serta metode – metode permodelan dalam membantu proses pemodelan laju kerusakan peralatan juga banyak digunakan sebagai metode penunjang dalam pemilihan strategi penggantian peralatan. Pada tabel 4 berikut ini adalah beberapa penelitian yang sudah ada sebelumnya dan telah diterapkan pada industri – industri terkait, yang menjadi referensi penulis dalam melakukan penelitian ini.

Tabel 4. Penelitian sebelumnya dan posisi peneliti pada *Replacement Strategies*

No	Nama Penulis	Judul	Metode	Keterangan
1	Freselam Mulubrhan, Ainul Akmar Binti M.	Replacement Analysis Using Probabilistic Life Cycle Costing	LCC, Reliability & Maintainability	Melakukan perbandingan alternatif menggunakan metode defender & Chalanger dengan parametrl nilai Reliability, Availibility, Maintainability dan LCC
2	Yue Shang, Martine van den Boomen, Amy de Man	Reliability-Based Life Cycle Costing Analysis for Embedded Rails in Level Crossings	Reliability-Based Life Cycle Costing Analysis, EAC	Mengintegrasikan perhitungan nilai keandalan sebagai inputan dalam formulasi kebutuhan Total biaya pemeliharaan dan perhitungan EAC
3	Srinath Raghavan, Badrul Chowdhury	Developing Life Cycle Management Plans For Power Plant Components	LCC, Weibull Distribution	Melakukan perbandingan alternatif pelaksanaan pemeliharaan dengan mempertimbangkan parameter LCC yang dihitung berdasarkan tingkat Failure Rate Peralatan
4	Igor G. Cesca, Douglas D. Novaes	Physical Assets Replacement: an Analytical Approach	Equivalent Property Cost (EPC), Mathematic Modeling For Replacement Criteria	Membuat model matematika untuk menentukan Minimum EPC dengan membandingkan nilai biaya akuisisi, nilai sisa dan biaya pemeliharaan dengan kriteria tingkat suku bunga, pajak (Tax) dan biaya akuisisi

Tabel 4. Penelitian sebelumnya dan posisi peneliti pada *Replacement Strategies* (lanjutan)

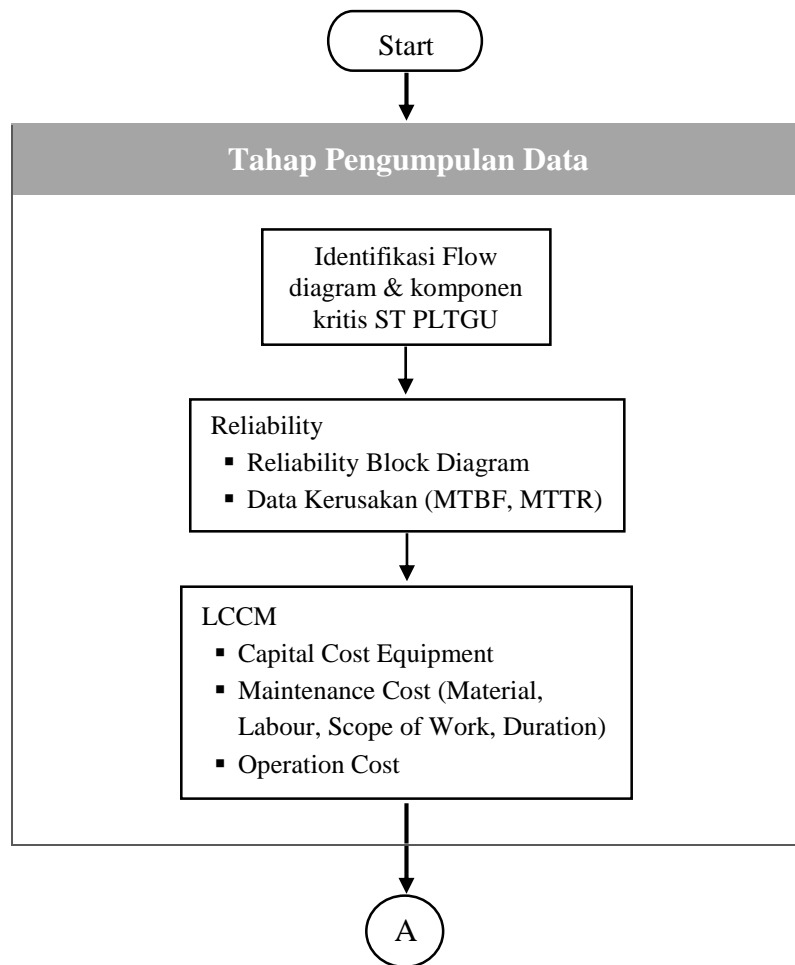
No	Nama Penulis	Judul	Metode	Keterangan
5	L. Saad, A. Aissani, A. Chateaufneuf, W. Raphael	Reliability-Based Optimization of Direct and Indirect LCC of RC Bridge Elements Under Coupled Fatigue-Corrosion Deterioration Processes	LCC, Reliability-Based Design Optimization (RBDO)	Perhitungan LCC dilakukan untuk setiap skenario dengan mempertimbangkan direct & indirect cost dari kegagalan sebuah jembatan, dimana setiap skenario dilakukan optimasi keandalan menggunakan metode Reliability-Based Design Optimization
6	Madhu Jain, Alok Kumar And G. C. Sharma	Maintenance Cost Analysis for Replacement Model With Perfect/Minimal Repair	Maintainability, Probability of failure, LCC	Melakukan perbandingan biaya pemeliharaan dengan skenario - skenario yang memperhitungkan jumlah pemeliharaan sempurna (penggantian Komponen) dan pemeliharaan minimal dan strategi penggantian.
7	Massoud Bazargan, Joseph Hartman	Aircraft replacement strategy : Model and analysis	Binary-integer linear programming model	Menggunakan linear programming dengan fungsi tujuan meminimalkan Total Discounted Cost yang berkaitan dengan seluruh Operasional Perusahaan penerbangan. Menggunakan 5 variabel dan 13 Fungsi batasan. Sehingga dapat ditentukan jumlah Pesawat yang harus di beli, disewa dan di jual kembali.
8	Laxman Yadu Waghmod, Rajkumar Bhimgonda Patil	Reliability Analysis and Life Cycle Cost Optimization: a Case Study from Indian Industry	Reliability, LCC Optimization	Menggunakan analisa keandalan dan perhitungan Life Cycle Cost untuk menganalisa performance & kinerja komponen - komponen pada mesin pemotong gergaji pita, melakukan evaluasi pemeliharaan serta pengoperasian untuk optimalisasi nilai keandalan dan LCC.
9	Joseph C. Hartman and Alison Murphy	Finite-horizon equipment replacement analysis	EAC, Dynamic-programming formulation (integer-knapsack)	Melakukan perbandingan antara menggunakan metode EAC dan Dynamic Programming untuk strategi penggantian peralatan dengan Horizon terbatas
10	Konstantinos J. Liapis, Dimitrios D. Kantianis	Depreciation Methods and Life Cycle Costing Analysis Methodology	LCC, Depreciation Method	Membandingkan beberapa metode depresiasi dengan Life Cycle Costing (LCC). Straight Line, Written Down Value (WDV), Sum of Years Digits (SYD) dan Sinking Fund. Implementasi pada office building & vessel.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

### BAB III

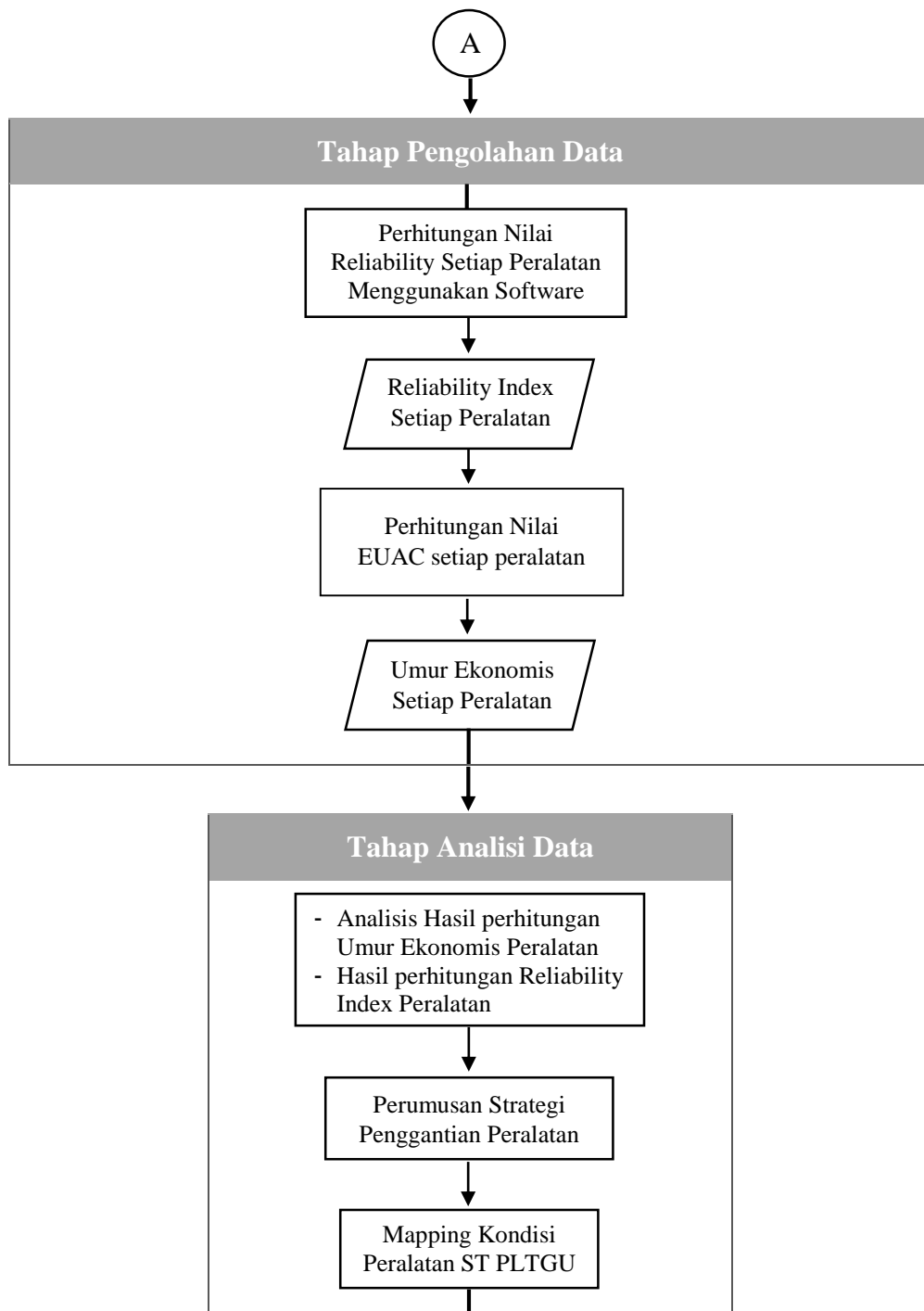
## METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab metodologi penelitian akan menjelaskan tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, tahapan dan urutan langkah yang digunakan dalam penelitian. Berikut *flowchart* yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 21.

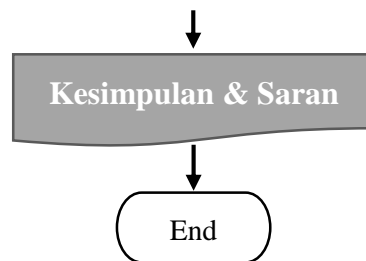


Gambar 21. Diagram Alir metodologi penelitian





Gambar 21. Diagram Alir Metodologi Penelitian (lanjutan)



Gambar 21. Diagram Alir Metodologi Penelitian (lanjutan)

Pada penelitian ini dilakukan tahap – tahap penelitian dimulai dari pendahuluan penelitian yang mencakup identifikasi permasalahan, studi literatur dan perumusan tujuan. Dilanjutkan dengan proses pengumpulan dan pengolahan data yang akan digunakan sebagai dasar perumusan strategi. Analisis hasil pengolahan data dan perumusan strategi sampai penarikan kesimpulan dan saran untuk menjawab tujuan penelitian.

### 3.1 Pengumpulan Data

Proses pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan beberapa metode, diantaranya: melakukan studi dokumentasi, observasi, wawancara dan *brainstorming*. Pada tahap pengumpulan data dilakukan Identifikasi *flow diagram process* dari sistem *Steam Turbine* PLTGU untuk menentukan komponen kritis dan komponen pendukung yang akan digunakan dalam penyusunan blok diagram sistem *steam turbine*. Dari pemilihan komponen peralatan tersebut akan dilakukan pengumpulan data pendukung untuk proses perhitungan variabel EUAC dan keandalan peralatan. Adapun data - data yang dibutuhkan dalam perhitungan nilai EUAC peralatan antara lain:

1. *Capital Cost* peralatan
2. *Maintenance Cost (Material, Labour, Scope of Work, Duration)*
  - a. *Corrective Maintenance Cost*
  - b. *Preventive Maintenance Cost*
  - c. *Predictive Maintenance Cost*
  - d. *Overhaul Cost*

3. *Operation Cost*
  - a. *Energy Consumption*
  - b. *Loss of Output*

Untuk menghitung nilai *reliability* setiap peralatan dilakukan pengumpulan data, antara lain:

1. Data Kerusakan Peralatan (*Work Order*)
2. Data Klasifikasi Jenis Kerusakan
3. *Downtime*
4. Data Waktu Antar Kerusakan Peralatan
5. Data Durasi perbaikan

Data – data kuantitatif yang dibutuhkan pada penelitian ini, diambil dari sistem informasi terintegrasi yang dimiliki PT. PJB yaitu pada aplikasi ELLIPSE.

### **3.2 Pengolahan Data**

Pada tahap pengolahan data dilakukan perhitungan nilai EUAC dan keandalan peralatan. Nilai EUAC dihitung untuk mencari umur ekonomis setiap peralatan dan nilai keandalan digunakan untuk mencari nilai *Reliability Index*.

#### **3.2.1 Perhitungan EUAC Peralatan**

Tahap ini dilakukan dengan tujuan untuk mencari nilai EUAC dan umur ekonomis setiap peralatan yang terdapat pada obyek penelitian. Perhitungan EUAC peralatan dilakukan beberapa tahapan, antara lain :

1. Melakukan pendataan parameter yang akan digunakan dalam proses perhitungan EUAC
2. Melakukan inventarisasi data historis dari setiap parameter yang akan digunakan dalam perhitungan (Parameter – parameter biaya yang akan digunakan pada perhitungan ini merupakan data historis yang diambilkan dari tahun 2001 – 2018).
3. Melakukan perhitungan EUAC dengan menginputkan parameter – parameter biaya yang sudah ditentukan dari setiap peralatan. Perhitungan biaya EUAC dilakukan dengan menggunakan aplikasi LCCM HOME.

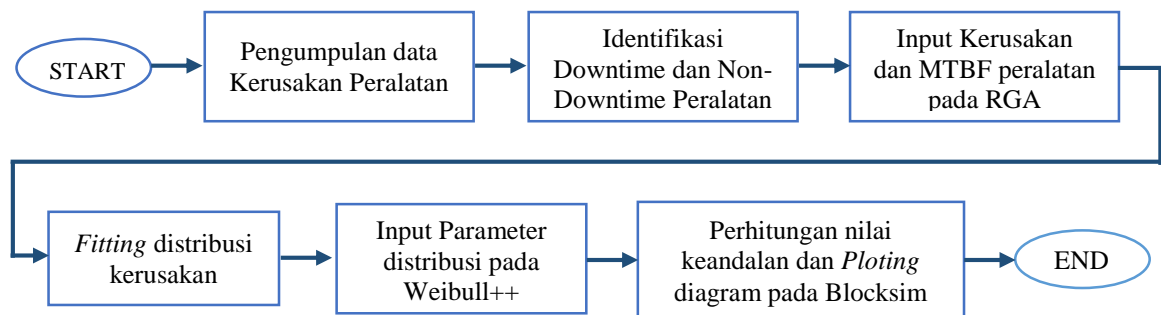
4. Melakukan plotting grafik EUAC dari setiap peralatan.
5. Menentukan nilai umur ekonomis peralatan yang menjadi obyek penelitian.

Proses perhitungan EUAC dilakukan dengan *planning horizon* sampai dengan proyeksi umur pembangkit yaitu tahun 2056. Nilai EUAC didapatkan dengan menjumlahkan nilai *Annual Operation & Maintenance Costs* dan *Annual Acquisition Cost*. *Annual Operation & Maintenance Costs* di dapatkan dari perhitungan parameter – parameter operasi dan pemeliharaan peralatan yang diproyeksikan ditahun – tahun mendatang dan *Annual Acquisition Cost* adalah biaya penyusutan dari peralatan tersebut. Data umur ekonomis dari setiap peralatan ini yang akan digunakan untuk perumusan analisis dan penentuan strategi untuk menjawab tujuan penelitian pada tahap selanjutnya.

### 3.2.2 Perhitungan *Reliability* Peralatan

Perhitungan nilai keandalan peralatan dilakukan menggunakan *software* Reliasoft. Perhitungan dilakukan dengan memasukkan parameter – parameter terkait kerusakan peralatan, seperti : Jumlah kerusakan , durasi kerusakan, MTBF dan lain – lain.

Adapun tahap – tahap perhitungan nilai *reliability* adalah sebagai berikut :



Gambar 22. Tahap perhitungan nilai *reliability* pada Reliasoft

Pada tahap awal dilakukan pengumpulan data kerusakan dari setiap peralatan yang masuk dalam komponen kritis dari sistem *Steam Turbine*, data – data keruskan tersebut mencakup data jenis kerusakan, durasi kerusakan, waktu perbaikan dan waktu perbaikan selesai. Dari data kerusakan tersebut dilakukan proses validasi, dimana perhitungan keandalan dilakukan hanya pada jenis kerusakan yang mengakibatkan *downtime* (peralatan tidak dapat beroperasi). Proses

validasi pengelompokan kerusakan peralatan tersebut dilakukan secara manual dengan memilah setiap jenis kerusakan dari tiap peralatan. Setelah melakukan identifikasi kerusakan yang mengakibatkan *downtime* dilakukan proses selanjutnya adalah memasukan data kerusakan, data waktu antar kerusakan yang telah diidentifikasi tersebut pada *software* RGA. Pada *software* RGA dilakukan pemilihan jenis distribusi laju kerusakan yang paling sesuai untuk mengidentifikasi nilai keandalannya. Selanjutnya dari proses perhitungan tersebut didapatkan hasil nilai keandalan dari peralatan tersebut. Nilai ini selanjutnya dimasukkan pada *software* Weibull++ dan Blocksim untuk mendapatkan plotting diagram keandalannya.

### **3.3 Tahap Analisis Data**

Pada tahap ini dilakukan analisis terhadap hasil perhitungan nilai umur ekonomis dan keandalan setiap peralatan dari tahap sebelumnya. Nilai umur ekonomis dan keandalan dari setiap peralatan di bandingkan untuk menentukan prioritas maupun kriteria aset yang akan di ganti (*replace*), tetap dipelihara (*keep*), dan perlu segera dievaluasi strategi pemeliharaannya. Perumusan kriteria dilakukan dengan menggunakan *expert judgement* dan diskusi manajemen puncak. Peralatan yang memiliki nilai keandalan dibawah kriteria yang ditetapkan dan umur ekonomisnya sudah mendekati (dengan kriteria tertentu) atau melewati waktu pengamatan dapat dimasukan dalam golong peralatan yang dapat diidentifikasi untuk diganti. Untuk peralatan yang berada diluar nilai kriteria tersebut atau berada diantara nilai kriteria yang ditetapkan dapat tetap terus digunakan atau masuk dalam golongan yang perlu dievaluasi strategi pemeliharaannya. Hasil perhitungan dan analisis setiap peralatan akan di petakan (*mapping*) untuk memberikan gambaran yang jelas terkait kondisi setiap peralatan dari obyek penelitian.

### **3.4 Kesimpulan & Saran**

Tahap ini, akan disusun kesimpulan dan saran dari penelitian yang sudah dilakukan berdasarkan hasil analisis dan interpretasi data. Kesimpulan yang disusun menjawab tujuan dari penelitian dan saran dibuat untuk penelitan selanjutnya dan usulan bagi perusahaan.

## BAB IV

### ANALISA HASIL

Pada bab ini akan dibahas proses pengumpulan data dari objek penelitian untuk kemudian dilakukan proses pengolahan data mencakup perhitungan keandalan dan EUAC peralatan dan proses analisis hasil perhitungan serta perumusan strategi penggantian peralatan.

#### 4.1 Identifikasi Komponen Kritis Sistem *Steam Turbin*

Sistem *Steam Turbine* pada PLTGU Unit Pembangkitan Gresik terdiri dari rangkain peralatan yang tersusun secara sistematis yang membentuk proses pembangkitan energi listrik. Peralatan–peralatan dalam sistem *steam turbine* ini tersusun secara seri maupun paralel. Sistem *steam turbine* terdiri dari beberapa peralatan utama dan peralatan pendukung. Pada penelitian ini, objek pengamatan fokus pada peralatan kritis (*critical*) dari peralatan utama yang ada di sistem *steam turbine* PLTGU Blok 2. Pada lampiran A ditunjukkan susunan peralatan utama sistem *steam turbine* PLTGU Blok 2. Tabel 5 dibawah ini merupakan daftar peralatan utama yang menyusun sistem steam turbine dan rekap jumlah kerusakan dari peralatan–peralatan tersebut. Data kerusakan diambilkan dari record data kejadian kerusakan dalam rentang tahun 2001 - 2018.

Tabel 5. Jumlah kerusakan peralatan utama *Steam Turbine* #2

No Peralatan	Nama Peralatan	Total Kerusakan
GC0022	MAIN TRANSFORMER	37
GC0038	UNIT AUX TRANSFORMATOR (UAT)	12
GC0474	DEAERATOR	13
GC0496	LP BOILER FEED PUMP (A)	29
GC0497	LP BOILER FEED PUMP (B)	36
GC0498	LP BOILER FEED PUMP (C)	36
GC0499	LP BOILER FEED PUMP (D)	52

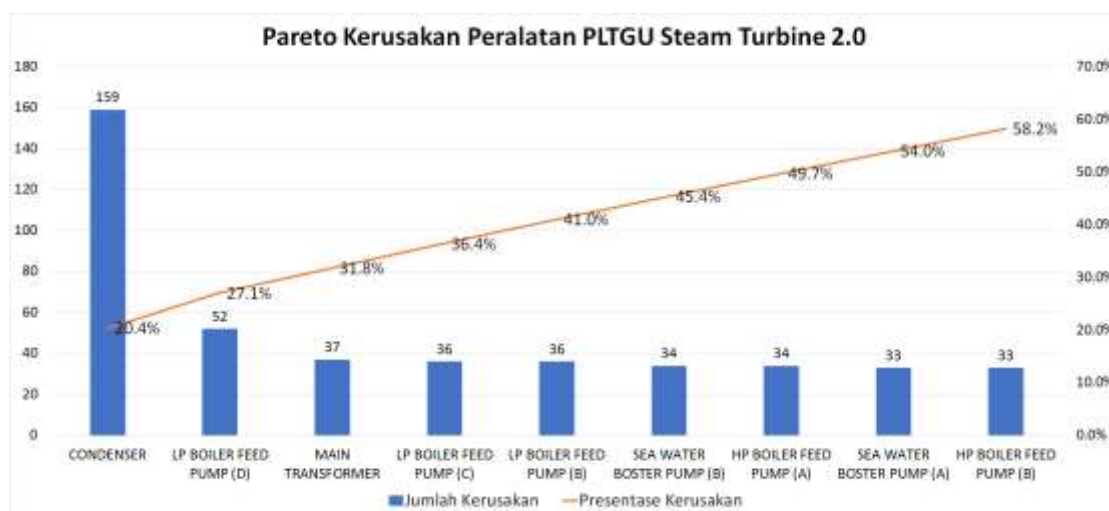
Tabel 5. Jumlah kerusakan peralatan utama *Steam Turbine* #2 (lanjutan)

No Peralatan	Nama Peralatan	Total Kerusakan
GC0500	HP BOILER FEED PUMP (A)	34
GC0501	HP BOILER FEED PUMP (B)	33
GC0502	HP BOILER FEED PUMP (C)	30
GC0503	HP BOILER FEED PUMP (D)	21
GC0610	CONDENSATE EXTRACTION PUMP (A)	9
GC0611	CONDENSATE EXTRACTION PUMP (B)	6
GC0624	HP TURBINE	23
GC0627	LP TURBINE	9
GC0642	CONDENSER	159
GC0651	GLAND STEAM CONDENSER	7
GC0660	HP OIL SYSTEM	4
GC0786	GENERATOR (NO : 127534)	23
GC0798	EXCITER SET	13
GC0827	SEAL OIL UNIT SYSTEM	21
GC0828	SEAL OIL PUMP (2)	4
GC0829	SEAL OIL PUMP (3) DC	1
GC0863	SEA WATER BOSTER PUMP (A)	33
GC0864	SEA WATER BOSTER PUMP (B)	34
GC0869	COOLING WATER HEAT EXCHANGER (A)	22
GC0870	COOLING WATER HEAT EXCHANGER (B)	24
GC0882	CLOSE CYCLE COOLING WATER PUMP A	4
GC0883	CLOSE CYCLE COOLING WATER PUMP B	9
GC0919	BLK 2.0 GT- INSTRUMEN AIR COMPRESSOR	19
GC1041	PLTGU - TRAFU SST (SS2)	11
GRK2707	LUBE OIL VAPOR EXTRACTOR	2
GRK2708	(MOP) MAIN LUBE OIL PUMP	2
GRK2709	(AOP) AUXILIARY LUBE OIL PUMP	2
GRK2710	(EOP) EMERGENCY LUBE OIL PUMP	2
GRK2711	(JOP) JACKING OIL PUMP (A)	2
GRK2712	(JOP) JACKING OIL PUMP (B)	2

(Sumber : Rekap *Work Order* Ellipse PT. PJB Tahun 2000 – 2018)

Peralatan kritis (*critical*) dipilih berdasarkan hasil pareto jumlah kerusakan peralatan. Peralatan yang masuk 20% peralatan dengan jumlah kerusakan terbanyak (*Top 20%*) dari seluruh komponen utama menjadi peralatan *critical* yang akan menjadi objek penelitian pada makalah ini. Hal ini dipilih karena

mempertimbangkan banyaknya jumlah kerusakan akan mempengaruhi nilai keandalan dan jumlah konsumsi biaya yang diperlukan oleh peralatan tersebut. Dari sejumlah peralatan utama yang terdapat pada tabel 5 diatas terpilih 9 peralatan kritis yang akan menjadi objek pengamatan pada penelitian ini. Gambar 25 dibawah menunjukkan 20% peralatan utama pada *Steam Turbine* yang memiliki jumlah kerusakan terbanyak. Jumlah kerusakan dan daftar peralatan kritis ini yang akan dijadikan objek pengamatan selanjutnya.



Gambar 23. Hasil Pareto Kerusakan Peralatan Utama Steam Turbine 2.0

Dari gambar diatas dapat dilihat 9 peralatan utama yang menjadi peralatan kritis pada unit *steam turbin* 2.0 antara lain : *Condensor*, *LP Boiler Feed Pump (D)*, *Main Transformer*, *LP Boiler Feed Pump (C)*, *LP Boiler Feed Pump (B)*, *Sea Water Booster Pump (B)*, *HP Boiler Feed Pump (A)*, *Sea Water Booster Pump (A)* dan *HP Boiler Feed Pump (B)*. Peralatan *Condenser* adalah peralatan yang memiliki jumlah kerusakan terbanyak pada sistem *steam turbine* blok 2 dengan total kerusakan selama tahun pengamatan sejumlah 159 kerusakan. Peralatan – peralatan kritis inilah yang pada proses selanjutnya akan diidentifikasi parameter – parameter terkait keandalan dan konsumsi biaya operasi, pemeliharaan serta *capital cost*-nya untuk perhitungan *Equivalent Uniform Annual Cost (EUAC)* peralatan.



## 4.2 Pengumpulan Data Terkait Keandalan

Untuk menghitung nilai keandalan suatu peralatan diperlukan data – data terkait kerusakan peralatan tersebut. Data kerusakan akan mengindikasikan jumlah kerusakan dari peralatan, durasi kerusakan dan waktu antar setiap kerusakan terjadi. Hal ini digunakan untuk melihat distribusi kerusakan yang akan digunakan untuk menghitung nilai keandalan dari peralatan. Pada PT. PJB UP Gresik data kerusakan peralatan adalah data kerusakan yang dicatat oleh operator peralatan atau bidang pemeliharaan terkait berupa data *Work Order* yang tersimpan dalam sistem informasi terintegrasi milik PT. PJB yaitu pada aplikasi ELLIPSE. Data *Work Order* ini berisikan detail dari setiap kerusakan mencakup nomor peralatan, deskripsi kerusakan, jenis kerusakan, waktu kerusakan, waktu perbaikan, durasi perbaikan, jumlah alokasi tenaga kerja, dan biaya yang dibutuhkan untuk melakukan perbaikan dari kerusakan tersebut. Tabel 6 menunjukkan contoh tampilan rekap data *Work Order* kerusakan peralatan dari sistem ELLIPSE. Dalam perhitungan keandalan jenis kerusakan yang digunakan adalah kerusakan yang menyebabkan peralatan tersebut tidak dapat dioperasikan (*Not Standby*), dalam hal ini kerusakan tersebut menyebabkan terjadinya *downtime*.

Tabel 6. Tampilan rekap *Work Order* Peralatan dari sistem ELLIPSE

EQUIP_NO	PLANT_NO	EQUIP_DESC	WR	WLD_DESC	WLD_TAR_DESC	TAR_DESC	TAR_COMPLETION_DATE	PARA_1	STO_JOB	WLD_TAR	TAR_SH	AM_TAR	WLD_TAR	WLD_L
GC01	SGR01	BLU 13-#EGG-SHAFTPUMP	418	Sump pompa 13 motor fase 3 rusak	HEAD: sump pompa 13 motor fase 3 rusak Detail: sump pompa 13 motor fase 3 rusak	SGR01 PUMP NO 0001000100010001		CR	YES	SELE	000000	1	000000	000000
GC02	SGR01	BLU 13-#EGG-SHAFTPUMP	420	Sump P1 Pump #EGG blok 1 Abnormal	HEAD: Sump P1 Pump #EGG blok 1 Abnormal Detail: Sump P1 Pump #EGG blok 1 pas. Ada kebocoran & oli	SGR01		CR	YES	SWPT	000000	1	000000	000000
GC03	SGR01	BLU 13-#EGG-SHAFTPUMP	506	tidak ada oli sump sump blok 1 sump 13	HEAD: tidak ada oli sump sump blok 1 sump 13 Detail: sump sump blok 1 sump 13	SGR01 KONTAK TANGKAI SUMP TAMP		CR	YES	SCHE	000000	1	000000	000000
GC04	SGR01	BLU 13-#EGG-SHAFTPUMP	540	Melubangi 02 level night		SGR01 Melubangi 02 level night		CR	YES	SCORP	000000	1	000000	000000
GC05	SGR01	BLU 13-#EGG-SHAFTPUMP	630	Merusak 02 sump sump 13 motor fase 3	HEAD: Merusak 02 sump sump 13 motor fase 3 Detail: Merusak 02 sump sump 13 motor fase 3	SGR01 Perbaikan Sump P1 Pump #EGG SGR01 Perbaikan Motor Sump P1 Pump #EGG SGR01 Perbaikan Sump P1 Pump #EGG		CR	YES	SCORP	000000	1	000000	000000
GC06	SGR01	BLU 13-#EGG-SHAFTPUMP	720	Sump pompa #EGG blok 1 tidak bisa otomatis	HEAD: Sump pompa #EGG blok 1 tidak bisa otomatis Detail: Sump pompa #EGG blok 1 tidak bisa otomatis	SGR01 Sump pompa #EGG blok 1 tidak bisa otomatis		CR	YES	SCORP	000000	1	000000	000000

Data dari *Work Order* ini yang selanjutnya diidentifikasi lebih lanjut untuk menentukan kerusakan tersebut menyebabkan *downtime* atau tidak. Proses validasi

kerusakan yang menyebabkan *downtime* dilakukan secara manual dengan memilah setiap kerusakan dan memberikan tanda (angka 1) untuk setiap kerusakan yang menyebabkan terjadinya *downtime*. Tabel 7 di bawah ini adalah contoh rekapan *work order* peralatan yang telah di validasi jenis kerusakannya.

Tabel 7. Tampilan hasil identifikasi kerusakan yang menyebabkan *downtime*

WO	EQUIP_N O	EQ_DESC	WO_DESCRIPTION	TASK_DESC	TERBIT	CLOSED	YEAR	DOWNT
43100	GC0483	ST 2.0 LP BOILER FEED PUMP (B)	BLOCK VALVE DRAIN OUT LET LP BFP B BOGOR	BLOCK VALVE DRAIN OUT LET LP BFP B BOGOR	27-Jan-01	5-Feb-01	2001	1
44133	GC0483	ST 2.0 LP BOILER FEED PUMP (B)	Deflektor LP BFP 2B bocor	DEFLEKTOR LP BFP 2B BOGOR	23-Mar-01	27-Apr-01	2001	1
44815	GC0483	ST 2.0 LP BOILER FEED PUMP (B)	LP BFP 2B saat di start langsung trip	LP BFP 2B SAAT DI START LANGSUNG TRIP	3-May-01	3-May-01	2001	1
45047	GC0483	ST 2.0 LP BOILER FEED PUMP (B)	Penggantian bearing LP BFP 2B (kocak)	PENGANTIAN BEARING LP BFP 2B (KOCAK)	28-May-01	14-Jun-01	2001	1
49440	GC0483	ST 2.0 LP BOILER FEED PUMP (B)	Diff Pressure indikator LP BFP 2B ABNORMAL	ABN	13-Feb-02	19-Feb-02	2002	0
50002	GC0483	ST 2.0 LP BFP (B)	SI ST 2.0 LP BFP (B)	SKOPE PEKERJAAN SESUAI STANDAR PJB	14-Mar-02	2-Apr-02	2002	1
53290	GC0483	ST 2.0 LP BOILER FEED PUMP (B)	LP BFP B minyak sering habis	CKD, PERBAKI & DISKUSI UTK GOOD SOLUSI	16-Sep-02	11-Oct-02	2002	0
56312	GC0483	ST 2.0 LP BOILER FEED PUMP (B)	ME Motor LP BFP 2B ST 2.0	INSPEKSI MOTOR	16-Mar-03	1-May-03	2003	0
58596	GC0483	ST 2.0 LP BOILER FEED PUMP (B)	ME LP BFP & STRAINER B ST 10	PEREMBAHAN & PERBAIKAN	18-Mar-03	1-May-03	2003	1
51456	GC0483	ST 2.0 LP BOILER FEED PUMP (B)	FLOW INDIC COOLING WATER LP BFP 2B&2C LERPA	FLOW COOLING DIGANTI BARU 2B 2C LP BFP	8-May-03	11-Jun-03	2003	0
65378	GC0483	ST 2.0 LP BOILER FEED PUMP (B)	LP BFP 2B drain union bocor	LP BFP 2B drain union bocor	22-Sep-04	24-Mar-05	2004	1
73207	GC0483	ST 2.0 LP BOILER FEED PUMP (B)	Seal Regulator Min Flow LP BFP 2B Bocor	Perbaikan seal regulator min Flow BFP 2B	9-Jan-05	23-Jan-05	2005	1
76350	GC0483	ST 2.0 LP BOILER FEED PUMP (B)	Perembahan Motor LP BFP B ST 10	Perembahan Motor LP BFP B ST 10	15-Sep-05	16-Sep-05	2005	1
87113	GC0483	ST 2.0 LP BOILER FEED PUMP (B)	SE - LP BFP B & PIPING SYSTEM	PEKERJAAN POMPA LP BFP B	11-Aug-06	3-Jan-07	2006	1
111872	GC0483	ST 2.0 LP BOILER FEED PUMP (B)	LP BFP 2B line min flow bocor sblh blk vlv	LP BFP 2B line min flow bocor sblh blk vlv	17-Jul-06	24-Jul-06	2006	0
114855	GC0483	ST 2.0 LP BOILER FEED PUMP (B)	Min flow LP BFP B bocor pd L-bownya	Min flow LP BFP B bocor pd L-bownya	5-Oct-06	7-Oct-06	2006	1
116721	GC0483	ST 2.0 LP BOILER FEED PUMP (B)	LP BFP 2B sisi kopling sering menderik	LP BFP 2B sisi kopling sering menderik	3-Dec-06	22-Jan-07	2006	1
121608	GC0483	ST 2.0 LP BOILER FEED PUMP (B)	L.Bow Min Flow LP BFP 2B ( ST 2.0 ) bocor	L.Bow Min Flow LP BFP 2B ( ST 2.0 ) bocor	17-Apr-06	27-Apr-06	2006	1
125660	GC0483	ST 2.0 LP BOILER FEED PUMP (B)	Flow LP BFP 2B rendah (Abn) ST 2.0	Perembahan Pompa LP BFP 2A	15-Jul-06	12-Aug-06	2006	0
126091	GC0483	ST 2.0 LP BOILER FEED PUMP (B)	Waspole drain casing LP BFP 2B rusak	Perbaikan Waspole drain casing LP BFP 2B	11-Aug-06	10-Aug-06	2006	1

Setelah melakukan identifikasi *downtime* dari setiap peralatan kritis pada sistem *steam turbine* blok 2, dilakukan perhitungan waktu antar keruskan (*Time between failure*), waktu antar kejadian dan durasi waktu perbaikan (*repair time*) dari setiap peralatan kritis untuk selanjutnya data tersebut dimasukkan pada *software* RGA dan Weibull++ untuk proses perhitung parameter distribusi dan dilanjutkan dengan perhitungan nilai keandalan. Tabel 8 dibawah ini menunjukkan contoh perhitungan nilai waktu antar keruskan (*Time between failure*), waktu antar kejadian (*Time to event*) dan durasi waktu perbaikan (*repair time*) dari peralatan kiritis *Sea Water Booster Pump (A)*.

Tabel 8. Penjabaran parameter kerusakan peralatan kritis *SWB Pump (A)*

No. Peralatan	Deskripsi Kerusakn	Waktu Kerusakan	TBF (Hari)	Time to Event (Hari)	Repair Time (Jam)
GC0861	SWBP A saat stop terjadi putar balik	5-Mar-02	794	794	2
GC0861	SWBP 2A ST High Vibration, suara berderik	14-Mar-02	9	803	4
GC0861	Motor Sea Water Booster Pump 2A Trip	10-Mar-03	361	1164	6
GC0861	SWBP & PIPING SYST ST 20 mech seal bocor	18-Mar-03	8	1172	2
GC0861	SWBP 2A bocor	19-Mar-03	1	1173	4
GC0861	SEA WATER BOSTER PUMP A pressure low	11-Aug-06	1241	2414	3
GC0861	SWBP 2A motor putar balik	23-Aug-06	12	2426	5
GC0861	Perbaiki SWBP 2A	7-Nov-06	76	2502	7
GC0861	Breaker SWBP 2A ST2.0 Trip	10-Jul-07	245	2747	5
GC0861	ST SWBP A Temperatur High	26-Sep-08	444	3191	8
GC0861	SWBP A Trip	4-Jan-11	830	4021	2
GC0861	SWBP ST 2.0 A Temp. bearing high	9-Jun-14	1252	5273	4
GC0861	SWBP A Motor vibrasi	4-Feb-16	605	5878	4
GC0861	SWBP 2A ABNORMAL	26-Jun-18	873	6751	6
GC0861	SWBP 2A ST#2.0 Putar Balik	17-Dec-18	174	6925	4

(Sumber : *Work Order Ellipse PT. PJB*)

### 4.3 Pengumpulan Data Perhitungan EUAC

Untuk menghitung nilai *Equivalent Uniform Annual Cost* (EUAC) dari peralatan kritis unit PLTGU *Steam Turbine* Blok 2. Terdapat beberapa data historis terkait peralatan yang dibutuhkan. Data – data tersebut mencakup data *Acquisition Cost* (biaya perolehan) aset, rincian *Operation & Maintenance Cost* biaya operasional peralatan yang mencakup biaya pengoperasian peralatan, biaya pemeliharaan dan biaya konsekuensial peralatan. Seluruh data ini yang nantinya akan digunakan untuk melakukan perhitungan. Data ini akan digunakan untuk perhitungan dalam menentukan total biaya yang akan diseragamkan.

#### 4.3.1 *Acquisition Cost* (Biaya Perolehan)

Dalam Perhitungan EUAC, *acquisition cost* atau biaya perolehan dari setiap peralatan merupakan salah satu parameter penting. Biaya perolehan merupakan seluruh biaya yang dikeluarkan perusahaan ketika membeli suatu aset (nilai buku awal yang dibukukan ketika membeli aset). Dalam perhitungan EUAC nilai

*acquisition cost* akan digunakan untuk menghitung nilai *annualized acquisition cost* setiap peralatan, yang nantinya menyusun grafik *equivalent annual cost* tersebut.

Pada penelitian ini, data *acquisition cost* untuk setiap peralatan kritis di PLTGU *Steam Turbine* Blok 2 diambilkan dari data histori nilai aset peralatan kritis pada tahun 2002, hal ini dilakukan mengingat perhitungan EUAC ini dilakukan pada rentang waktu Tahun 2000 – 2056. Tabel 9 memperlihatkan nilai aset dari setiap peralatan kritis PLTGU *Steam Turbine* Blok 2 dan tahun perolehannya yang akan digunakan pada perhitungan EUAC pada bagaian selanjutnya.

Tabel 9. Nilai Aset dan Tahun Perolehan Peralatan Kritis *Steam Turbine* #2

No. Peralatan	Nama Peralatan	Nilai Aset	Tahun Perolehan
GC0641	CONDENSER	21,796,987,289.10	1994
GC0485	LP BOILER FEED PUMP (D)	1,315,280,151.79	1993
GC0019	MAIN TRANSFORMER	18,328,166,694.54	1994
GC0483	LP BOILER FEED PUMP (B)	1,315,280,151.79	1993
GC0484	LP BOILER FEED PUMP (C)	1,315,280,151.79	1993
GC0862	SEA WATER BOSTER PUMP (B)	1,339,972,999.24	1993
GC0486	HP BOILER FEED PUMP (A)	1,701,736,892.41	1993
GC0861	SEA WATER BOSTER PUMP (A)	1,339,972,999.24	1993
GC0487	HP BOILER FEED PUMP (B)	1,701,736,892.41	1993

(Sumber : Laporan Inventarisasi Aset Tahunan PT. PJB UP Gresik)

#### 4.3.2 Operation & Maintenance Cost

Data *Operation & Maintenance Cost* atau biaya operasional dan pemeliharaan peralatan merupakan keseluruhan biaya yang dikonsumsi peralatan selama masa hidupnya. Dalam perhitungan EUAC di PT. PJB komponen biaya operasional dan pemeliharaan peralatan mencakup biaya pengoperasian dari setiap peralatan, biaya pemeliharaan dan biaya konsekuensial.

##### 4.3.2.1 Biaya Operasional

Biaya Operasional Peralatan merupakan komponen *Operation & Maintenance Cost* peralatan yang terdiri dari biaya tenaga kerja per peralatan, biaya konsumsi energi listrik atau bahan bakar. Adapun detail pembahasan pencarian data untuk masing – masing komponen biaya adalah sebagai berikut :

a. Biaya Tenaga Kerja Per Peralatan

Biaya tenaga kerja per peralatan adalah biaya tenaga kerja yang di bebaskan untuk setiap peralatan dalam proses operasionalnya, dirumuskan dengan :

$$Biaya\ Tenaga\ Kerja\ Per\ Peralatan = \sum Salary \times \left( \frac{Capital_{Equipment}}{Capital_{Plant}} \right) \quad (4.1)$$

Keterangan:

$\sum_{Salary}$  = Total gaji pegawai dalam satu unit

$\frac{Capital_{Equip}}{Capital_{Plant}}$  = Rasio nilai peralatan terhadap nilai total pembangkit

Data total gaji pegawai dalam satu unit dapat dilihat pada bagian lampiran. Tabel 10 dibawah ini memperlihatkan nilai Biaya tenaga kerja per peralatan untuk peralatan kritis *Sea Water Booster Pump* (A), untuk nilai biaya tenaga kerja per peralatan lainnya dapat dilihat di lampiran.

Tabel 10. Biaya Tenaga kerja Peralatan SWBP (A) setiap Tahun

Tahun	Nama Peralatan	Biaya Tenaga Kerja (Peralatan)
2001	SEA WATER BOSTER PUMP (A)	Rp 1,880,994
2002	SEA WATER BOSTER PUMP (A)	Rp 2,161,889
2003	SEA WATER BOSTER PUMP (A)	Rp 3,637,150
2004	SEA WATER BOSTER PUMP (A)	Rp 5,501,509
2005	SEA WATER BOSTER PUMP (A)	Rp 6,368,934
2006	SEA WATER BOSTER PUMP (A)	Rp 6,205,941
2007	SEA WATER BOSTER PUMP (A)	Rp 5,408,599
2008	SEA WATER BOSTER PUMP (A)	Rp 7,072,583
2009	SEA WATER BOSTER PUMP (A)	Rp 9,544,295
2010	SEA WATER BOSTER PUMP (A)	Rp 12,569,704
2011	SEA WATER BOSTER PUMP (A)	Rp 13,101,075
2012	SEA WATER BOSTER PUMP (A)	Rp 14,482,012
2013	SEA WATER BOSTER PUMP (A)	Rp 13,845,301
2014	SEA WATER BOSTER PUMP (A)	Rp 15,476,551
2015	SEA WATER BOSTER PUMP (A)	Rp 9,340,927
2016	SEA WATER BOSTER PUMP (A)	Rp 21,216,106

(Sumber : Laporan Keuangan Tahunan PT. PJB UP Gresik)

b. Biaya Konsumsi Energi Listrik atau Bahan Bakar

Biaya konsumsi Energi merupakan biaya yang dibutuhkan atau dikonsumsi setiap peralatan untuk dapat melakukan fungsi operasionalnya. Pada pembangkit dapat dibagi 3 jenis peralatan berdasarkan sumber energi yang digunakan oleh peralatan dalam proses operasionalnya, yaitu: peralatan yang beroperasi dengan menggunakan energi listrik, peralatan yang beroperasi dengan energi dari *steam* atau uap yang bersumber dari proses pembakaran bahan bakar dan peralatan yang tidak menggunakan sumber bahan bakar apapun. Tabel 11 dibawah ini memperlihatkan jumlah konsumsi energi dari setiap peralatan kritis pada PLTGU *Steam Turbine* Blok 2.

Tabel 11. Konsumsi energi Peralatan Kritis PLTGU ST 2.0

No. Peralatan	Nama Peralatan	Konsumsi Energi Listrik (KW)	Konsumsi Bahan Bakar lain (Kcal/KWh)
GC0641	CONDENSER	-	-
GC0485	LP BOILER FEED PUMP (D)	63.75	-
GC0019	MAIN TRANSFORMER	-	-
GC0483	LP BOILER FEED PUMP (B)	63.75	-
GC0484	LP BOILER FEED PUMP (C)	63.75	-
GC0862	SEA WATER BOSTER PUMP (B)	25.5	-
GC0486	HP BOILER FEED PUMP (A)	640	-
GC0861	SEA WATER BOSTER PUMP (A)	25.5	-
GC0487	HP BOILER FEED PUMP (B)	640	-

(Sumber : Operation & Maintenance Manual Book PLTGU Gresik)

Biaya konsumsi energi listrik tahunan dihitung dengan melihat jumlah konsumsi daya dari setiap peralatan per jam (*hour*) dikalikan dengan durasi pengoperasiannya selama satu tahun dan biaya listrik per kWh. Tabel 12 di bawah ini memperlihatkan contoh rekap biaya konsumsi peralatan kritis *Sea Water Boster Pump* (A) dari tahun 2001 – 2016.

Tabel 12. Biaya Konsumsi Energi Listrik Peralatan SWBP (A) tahun 2001 - 2016

Tahun	Nama Peralatan	Konsumsi Listrik Per Jam (kWh)	Jam Operasi Dalam 1 tahun	Harga Listrik (Rp/kWh)	Biaya Listrik Tahunan
2001	SEA WATER BOSTER PUMP (A)	25.5	4336.2	250.93	Rp 27,746,332
2002	SEA WATER BOSTER PUMP (A)	25.5	4223.4	270.77	Rp 29,161,139
2003	SEA WATER BOSTER PUMP (A)	25.5	3966.8	363.69	Rp 36,788,295
2004	SEA WATER BOSTER PUMP (A)	25.5	4243.6	413.38	Rp 44,732,488
2005	SEA WATER BOSTER PUMP (A)	25.5	4284	595.68	Rp 65,073,275
2006	SEA WATER BOSTER PUMP (A)	25.5	3821	916.61	Rp 89,310,354
2007	SEA WATER BOSTER PUMP (A)	25.5	3963	809.27	Rp 81,779,414
2008	SEA WATER BOSTER PUMP (A)	25.5	4278.7	1026.48	Rp111,994,691
2009	SEA WATER BOSTER PUMP (A)	25.5	4064.3	687	Rp 71,199,739
2010	SEA WATER BOSTER PUMP (A)	25.5	4234.5	659	Rp 71,159,075
2011	SEA WATER BOSTER PUMP (A)	25.5	3846.6	891	Rp 87,396,865
2012	SEA WATER BOSTER PUMP (A)	25.5	4378	615	Rp 68,657,985
2013	SEA WATER BOSTER PUMP (A)	25.5	4304.6	651	Rp 71,459,066
2014	SEA WATER BOSTER PUMP (A)	25.5	4101.6	650	Rp 67,983,882
2015	SEA WATER BOSTER PUMP (A)	25.5	4283	730	Rp 79,730,527
2016	SEA WATER BOSTER PUMP (A)	25.5	4102.8	1020	Rp106,714,045

(Sumber : Laporan Keuangan Tahunan PT. PJB UP Gresik)

#### 4.3.2.2 Biaya Pemeliharaan

Pada perhitungan EUAC untuk komponen biaya operasional dan pemeliharaan, biaya pemeliharaan pada peralatan kritis pembangkit diambilkan dari data histori biaya pemeliharaan untuk setiap jenis pemeliharaan yang dilakukan pada peralatan tersebut. Di PT. PJB terdapat beberapa jenis pemeliharaan yang diterapkan pada setiap peralatan kritis pembangkit sesuai dengan yang telah dijelaskan pada bab 2 makalah ini. Adapun komponen biaya yang masuk dalam perhitungan biaya pemeliharaan ini antara lain: biaya pemeliharaan *Corrective*, *preventive*, *predictive*, biaya *overhaul* dan *project* pada peralatan tersebut.

Adapun perhitungan biaya pemeliharaan merupakan penjumlahan dari total biaya material dan total biaya tenaga kerja dari setiap tipe pemeliharaan. Biaya material muncul ketika terdapat aktivitas pemeliharaan *corrective* dan *overhaul*. Biaya tenaga kerja dihasilkan dengan adanya aktivitas pemeliharaan *corrective*, *preventive*, *predictive* dan *overhaul*.

$$\text{Biaya Pemeliharaan} = \sum \text{Biaya Material} + \sum \text{Biaya Tenaga kerja} \quad (4.2)$$

Biaya material untuk jenis pemeliharaan *corrective* dan *overhaul* didapatkan dari data histori yang terdapat pada sistem informasi pemeliharaan PT. PJB . Biaya tenaga kerja yang digunakan adalah sebesar Rp. 75.000/jam. Adapun perhitungan biaya dari setiap jenis pemeliharaan dijelaskan pada bagian dibawah ini.

#### A. Perhitungan Biaya *Corrective Maintenance*

Perhitungan biaya tenaga kerja pemeliharaan *corrective* dihitung dengan rumusan sebagai berikut :

$$\text{Biaya Tenaga Kerja (Cr)} = t_{\text{Maintenance (Cr)}} \times n_{\text{Labor}} \times C_{\text{Labor}} \quad (4.3)$$

Keterangan :

$t_{\text{Maintenance (Cr)}}$  = Durasi pemeliharaan *corrective*

$n_{\text{labor}}$  = Jumlah tenaga kerja

$C_{\text{labor}}$  = Biaya tenaga kerja (Rp/jam)

Tabel 13 di bawah ini memperlihatkan rekap biaya pemeliharaan *corrective* mencakup biaya tenaga kerja dan material dari peralatan *Sea Water Booster Pump*.

Tabel 13. Rekap biaya pemeliharaan *corrective* peralatan kritis SWBP (A)

Tahun	Deskripsi Kerusakan	Durasi Perbaikan (Jam)	Jumlah Tenaga Kerja	Biaya Tenaga Kerja	Biaya Material
2002	SWBP A saat stop terjadi putar balik	24	4	Rp 7,200,000	Rp 1,670,661
2004	Bearing motor SWBP 2A sisi copling high	4	3	Rp 900,000	Rp 51,729,261
2005	Gland seal SWBP 2A bocor besar	8	4	Rp 2,400,000	Rp -
2006	SWBP 2A bearing oil free side ,srg habis	48	4	Rp 14,400,000	Rp 1,703,493
2006	SWBP 2A abnormal	8	4	Rp 2,400,000	Rp 30,900,000
2006	Perbaikan SWBP 2A	5	5	Rp 1,875,000	Rp 77,512,350
2007	Breaker SWBP 2A Trip	3	2	Rp 450,000	Rp 3,242,344
2015	SWBP 1A ST 1.0 putar balik	16	2	Rp 2,400,000	Rp 54,214,000

(Sumber : Data *Work Order* Ellipse PT. PJB)



**B. Perhitungan Biaya Preventive Maintenance**

Pemeliharaan *preventive* merupakan jenis pemeliharaan terjadwal. Perhitungan biaya pemeliharaan *preventive* dilakukan dengan melihat jumlah pemeliharaan tersebut dalam 1 tahun dikalikan dengan jumlah tenaga kerja yang dibutuhkan dikalikan dengan lama durasi pekerjaan dan biaya tenaga kerja.

$$Biaya\ Tenaga\ Kerja\ (Pm) = n_{Maintenance\ (Pm)} \times t_{Maintenance\ (Pm)} \times n_{Labor} \times C_{Labor} \quad (4.4)$$

Keterangan :

$n_{Maintenance\ (Pm)}$  = Jumlah pemeliharaan *preventive* (dalam 1 Tahun)

$t_{Maintenance\ (Pm)}$  = Durasi pemeliharaan *preventive*

$n_{labor}$  = Jumlah tenaga kerja

$C_{labor}$  = Biaya tenaga kerja (Rp/jam)

Biaya pemeliharaan *preventive* dimasukkan pada perhitungan EUAC peralatan kritis dimulai dari saat peralatan tersebut menerapkan pola pemeliharaan *preventive* sesuai dengan histori data pada sistem informasi pemeliharaan PT. PJB. Dengan menggunakan perhitungan diatas, tabel 14 dibawah ini menunjukkan biaya pemeliharaan *preventive* setiap peralatan kritis di PLTGU ST 2.0

$$Biaya\ Tenaga\ Kerja\ (Pm\ SW\ Booster\ Pump\ A) = 27 \times 11 \times 3 \times Rp\ 75.000$$

$$Biaya\ Tenaga\ Kerja\ (Pm\ SW\ Booster\ Pump\ A) = Rp\ 66.825.000, -$$

Tabel 14. Biaya pemeliharaan *preventive* peralatan kritis PLTGU ST 2.0

Peralatan	Frekuensi PM (hari)	Durasi PM (Jam)	Tenaga Kerja	Jumlah PM (Tahun)	Man Hours (Tahun)	Total Biaya
CONDENSER	28	11	10	14	1540	Rp115,500,000
LP BOILER FEED PUMP (D)	28	14	6	14	1176	Rp 88,200,000
MAIN TRANSFORMER	28	1	2	14	28	Rp 2,100,000
LP BOILER FEED PUMP (B)	28	14	6	14	1176	Rp 88,200,000
LP BOILER FEED PUMP (C)	28	14	6	14	1176	Rp 88,200,000
SEA WATER BOOSTER PUMP (B)	14	11	3	27	891	Rp 66,825,000
HP BOILER FEED PUMP (A)	28	14	6	14	1176	Rp 88,200,000
SEA WATER BOOSTER PUMP (A)	14	11	3	27	891	Rp 66,825,000
HP BOILER FEED PUMP (B)	28	14	6	14	1176	Rp 88,200,000

(Sumber : Data Ellipse PT. PJB)

### C. Perhitungan Biaya *Predictive Maintenance*

Pemeliharaan *predictive* merupakan tipe pemeliharaan terjadwal, dimana perhitungan biaya pemeliharaan *predictive* memiliki rumusan yang menyerupai perhitungan biaya pemeliharaan *preventive*, yaitu :

$$\text{Biaya Tenaga Kerja (Pdm)} = n_{\text{Maintenance(Pdm)}} \times t_{\text{Maintenance(Pdm)}} \times n_{\text{Labor}} \times C_{\text{Labor}} \quad (4.5)$$

Keterangan :

$n_{\text{Maintenance (Pdm)}}$  = Jumlah pemeliharaan *predictive* (dalam 1 Tahun)

$t_{\text{Maintenance (Pdm)}}$  = Durasi pemeliharaan *predictive*

$n_{\text{labor}}$  = Jumlah tenaga kerja

$C_{\text{labor}}$  = Biaya tenaga kerja (Rp/jam)

Tabel 15 dibawah ini menunjukkan contoh biaya pemeliharaan *predictive* peralatan kritis *Sea Water Booster Pump (A)*

$$\begin{aligned} \text{Biaya Tenaga Kerja (Pdm Thermography SWBP A)} \\ = 2 \times 0.33 \text{ jam} \times 1 \text{ orang} \times \text{Rp } 75.000 \end{aligned}$$

$$\text{Biaya Tenaga Kerja (Pdm Thermography SWBP A)} = \text{Rp } 63.000, -$$

Tabel 15. Biaya pemeliharaan *predictive* peralatan kritis SWBP (A)

Mulai Pelaksanaan	Deskripsi Pemeliharaan PdM	Interval (Bulan)	Durasi (Jam)	Tenaga Kerja	Total Man Hours	Jumlah PdM (setahun)	Biaya PdM
2013	PdM Motor CS analysis SWBP A	1	0.33	1	0.33	12	Rp 297,000
2013	PdM Thermography SWBP A	6	0.42	1	0.42	2	Rp 63,000
2013	PdM Vibrasi SWBP A	1	0.66	2	1.32	12	Rp1,188,316

(Sumber : Data Ellipse PT. PJB)

#### D. Perhitungan Biaya *Overhaul*

Biaya *Overhaul* diambilkan dari histori data penggunaan biaya *overhaul* untuk masing – masing peralatan sesuai dengan tipe *overhaul* peralatan tersebut ditahun – tahun sebelumnya. Di PT. PJB untuk sistem PLTGU memiliki 3 tipe *overhaul* berdasarkan tingkat pemeliharaan dan cakupan perawatan yang dilakukan pada peralatan tersebut, yaitu: *Simple Inspection (SI)*, *Medium Inspection (ME)* dan *Serius Inspection (SE)*. Dari setiap jenis *overhaul* tersebut memiliki cakupan perawatan peralatan yang berbeda dan mengkonsumsi biaya *overhaul* yang berbeda pula. Tabel 16 dibawah ini merupakan histori biaya overhaul untuk peralatan kritis *Sea Water Booster Pump (A)* PLTGU ST 2.0.

Tabel 16. Biaya *overhaul* dari Peralatan Kritis SWBP (A) PLTGU ST 2.0

<b>Tahun</b>	<b>Tipe Overhaul</b>	<b>Biaya Overhaul</b>
2001	SI	Rp 2,664,618
2002	SE	Rp 105,874,107
2003	SI	Rp 3,050,721
2004	SE	Rp 121,215,265
2005	SI	Rp 3,492,770
2006	SE	Rp 138,779,357
2007	SI	Rp 3,998,873
2008	ME	Rp 574,879,493
2009	SI	Rp 4,578,309
2010	ME	Rp 658,179,532
2011	SI	Rp 5,241,706
2012	SE	Rp 208,270,393
2013	-	Rp -
2014	ME	Rp 862,739,104
2015	SI	Rp 6,870,807
2016	SE	Rp 273,000,000

(Sumber : Laporan Overhaul PT. PJB UP Gresik Tahun 2000 - 2016)

#### 4.3.2.3 Biaya Konsekuensial

Biaya Konsekuensial merupakan salah satu komponen biaya operasional dan pemeliharaan yang timbul akibat terjadinya kegagalan pada peralatan yang mengakibatkan adanya kondisi unit mengalami penurunan proses produksi

(*derating*) atau tidak bisa beroperasi atau *shut down (outage)*. Akibat kondisi tersebut mengakibatkan timbulnya kerugian unit karena tidak dapat beroperasi sesuai dengan kapasitas maksimumnya (*Opportunity Losses*). Data Biaya konsekuensial didapatkan dari *record* data kejadian *derating/outage* yang telah disortir berdasarkan jenis peralatan yang menyebabkan kondisi tersebut. *Record* data kejadian *derating/outage* tiap peralatan dan biaya konsekuensi yang ditimbulkan diambilkan dari sistem informasi produksi PT. PJB. Tabel 17 dibawah ini merupakan contoh rekap kejadian dan biaya konsekuensial dari kejadian *derating/outage* yang disebabkan oleh peralatan kritis *Condensor* PLTGU ST 2.0.

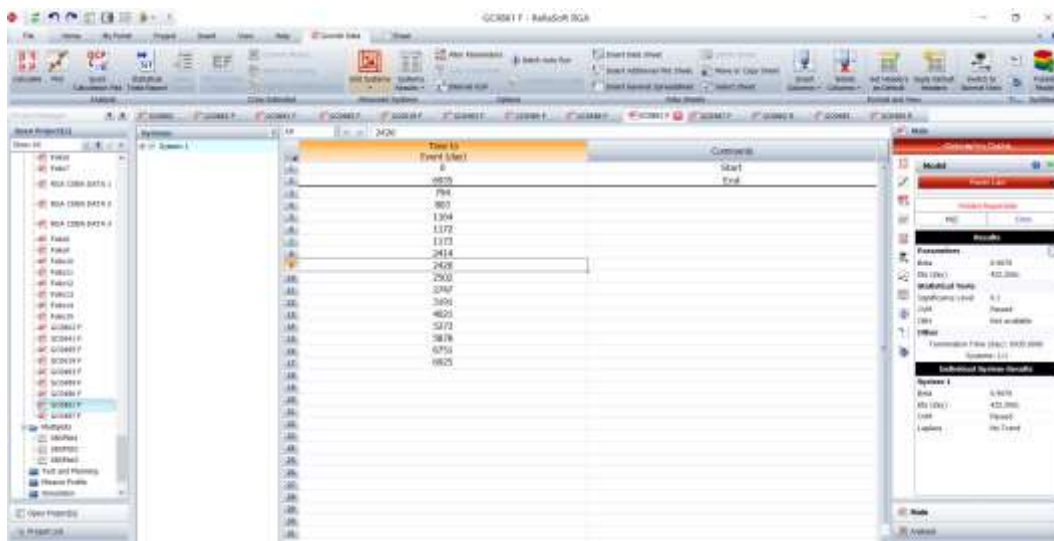
Tabel 17. Rekap Kejadian dan Biaya Konsekuensial Peralatan *Condensor* ST 2.0

No. Peralatan	Status	Durasi (Hours)	Kerugian (MW)	Biaya Konsekuensi (Rp)	Tahun
GC0641	230-Operasi dg Forced Derating	2.50	90	Rp 82,102,232	2003
GC0641	230-Operasi dg Forced Derating	4.10	50	Rp 73,405,784	2004
GC0641	220-Op dg Planned Derating	3.70	55	Rp 72,868,669	2004
GC0641	230-Operasi dg Forced Derating	3.33	50	Rp 59,679,499	2004
GC0641	320-Maintenance Outage	188.75	180	Rp 17,211,618,854	2005
GC0641	330-Forced Outage	0.77	180	Rp 111,701,614	2006
GC0641	230-Operasi dg Forced Derating	9.93	8	Rp 49,470,015	2011
GC0641	230-Operasi dg Forced Derating	5.45	60	Rp 190,674,338	2012
GC0641	230-Operasi dg Forced Derating	3.97	60	Rp 138,778,264	2012
GC0641	241-(MD) Operasi dg Maintenance Derating	10.33	60	Rp 418,406,772	2013
GC0641	231-(FD1) FD Immediate	3.15	60	Rp 173,536,182	2015
GC0641	331-(FO1) FO Immediate	7.77	180	Rp 1,283,616,837	2015
GC0641	231-(FD1) FD Immediate	12.92	60	Rp 711,590,164	2015
GC0641	241-(MD) Operasi dg Maintenance Derating	16.00	60	Rp 1,020,205,268	2016
GC0641	242-(MDE) Maintenance Derating Extension	3.17	60	Rp 201,915,626	2016
GC0641	241-(MD) Operasi dg Maintenance Derating	9.98	60	Rp 636,565,579	2016
GC0641	231-(FD1) FD Immediate	0.92	7	Rp 6,819,080	2016
GC0641	331-(FO1) FO Immediate	2.90	100	Rp 308,187,008	2016

(Sumber : Data Navitas PT. PJB)

#### 4.4 Perhitungan *Reliability*

Perhitungan *Reliability* pada penelitian ini menggunakan *software* Reliasoft khususnya pada *software* RGA, Weibull++ dan Blocksim. Data kerusakan peralatan kritis yang sudah divalidasi pada proses sebelumnya dimasukkan pada *software* RGA. Pada *software* RGA data yang dimasukkan adalah data *time to event* saat terjadi *failure* peralatan yang dikurangi dengan waktu awal peralatan tersebut beroperasi. Gambar 24 memperlihatkan data inputan pada *software* RGA yaitu data awal sampai data kegagalan akhir yang akan dianalisa.



Gambar 24. Tampilan masukkan *TBF* pada *Software* RGA

Dari Gambar 26 diatas dapat dilihat beberapa input yang harus dimasukkan pada *software* RGA antara lain: waktu antar kejadian (*time to event*) dalam satuan *days*/hari. Waktu awal peralatan beroperasi (*start*) dan waktu pengamatan terakhir (*end*). Setelah proses input data tersebut, dilakukan proses perhitungan (*Calculate*) data tersebut sehingga dihasilkan nilai distribusinya. Pada *Software* RGA distribusi data kerusakan secara otomatis diarahkan untuk memakai distribusi yang paling sesuai (*fitted*) dengan sebaran data yang diinputkan. Dari input data kerusakan untuk peralatan kritis pada penelitian ini dihasilkan distribusi yang paling sesuai adalah distribusi weibull dengan 2 parameter yaitu *beta* ( $\beta$ ) dan *eta* ( $\eta$ ). Pada Distribusi Weibull 2 Parameter hanya dua parameter yang digunakan secara simultan. Distribusi Weibull 2 Parameter dikelompokkan menjadi tiga versi yaitu:

versi skala bentuk, versi lokasi bentuk, dan versi pergeseran skala. Gambar 25 dibawah memperlihatkan contoh rangkuman hasil dari *running software* RGA.



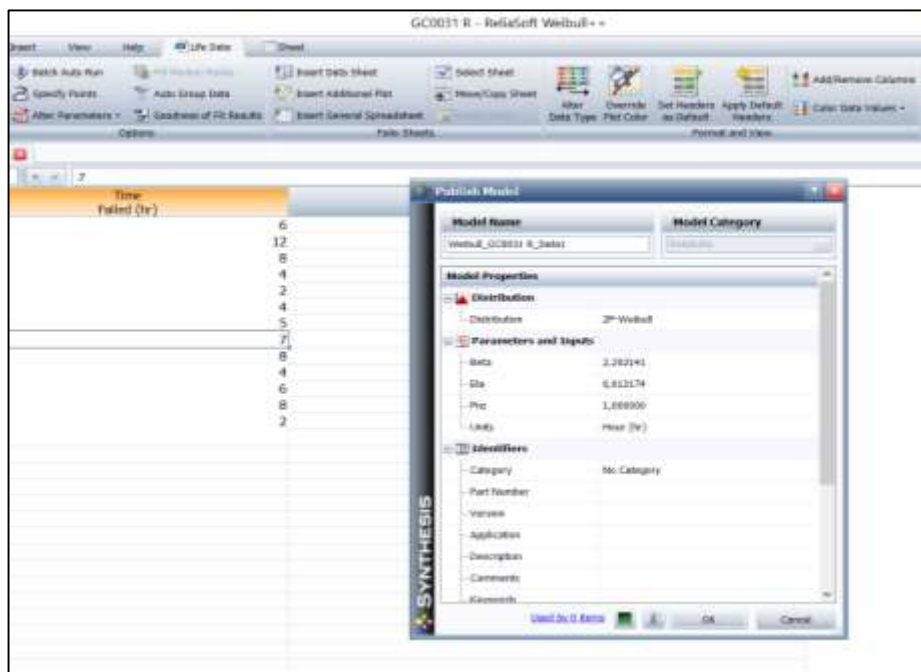
Gambar 25. Tampilan Rangkuman Hasil Kalkulasi Software RGA

Dengan memasukkan seluruh data kerusakan dari setiap peralatan kritis di PLTGU *Steam Turbine* Blok 2, didapatkan hasil distribusi yang paling sesuai, nilai *beta* ( $\beta$ ) dan nilai *eta* ( $\eta$ ) untuk setiap peralatan kritis. Tabel 18 di bawah ini memperlihatkan nilai *beta* ( $\beta$ ) dan *eta* ( $\eta$ ) dan model distribusi untuk setiap peralatan kritis di PLTGU *Steam Turbine* Blok 2.

Tabel 18. Rangkuman Nilai Parameter Hasil *Fitting Distribusi*

No. Peralatan	Nama Peralatan	Beta ( $\beta$ )	Eta ( $\eta$ )	Model Distribusi
GC0641	CONDENSER	1.5464	752.7323	2P-Wibull
GC0485	LP BOILER FEED PUMP (D)	1.3383	575.0173	2P-Wibull
GC0019	MAIN TRANSFORMER	1.1706	686.0061	2P-Wibull
GC0483	LP BOILER FEED PUMP (B)	1.2039	435.463	2P-Wibull
GC0484	LP BOILER FEED PUMP (C)	1.2892	653.7329	2P-Wibull
GC0862	SEA WATER BOSTER PUMP (B)	1.209	954.276	2P-Wibull
GC0486	HP BOILER FEED PUMP (A)	0.9193	159.8404	2P-Wibull
GC0861	SEA WATER BOSTER PUMP (A)	0.9676	422.2061	2P-Wibull
GC0487	HP BOILER FEED PUMP (B)	0.8989	278.3975	2P-Wibull

Setelah melakukan perhitungan nilai parameter  $\beta$  dan  $\eta$  untuk setiap peralatan kritis pada *software* RGA, dilakukan perhitungan *mean time to repair* (MTTR) untuk setiap kerusakan pada peralatan kritis dengan menggunakan *software* Weibull++. *Mean Time to Repair* (MTTR) adalah waktu rata-rata yang dibutuhkan untuk melakukan proses pengecekan atau perbaikan pada peralatan yang mengalami kerusakan sampai komponen atau peralatan tersebut dapat digunakan atau dihidupkan kembali. Data *mean time to repair* (MTTR) pada setiap kerusakan pada peralatan kritis di PLTGU *Steam Turbine* Blok 2 bukan merupakan data yang tetap (*fix*) tetapi merupakan data yang memiliki waktu yang berbeda-beda, artinya waktu yang dibutuhkan untuk mengerjakan proses perbaikan untuk setiap jenis kerusakan tidak sama. Data MTTR didapatkan dari data histori pada *Work Order* kerusakan peralatan pada sistem ELLIPSE. Gambar 26 dibawah ini memperlihatkan contoh inputan data yang digunakan pada *software* Weibull++ untuk mengolah nilai *main time to repair* (MTTR) pada peralatan kritis di PLTGU *Steam Turbine* Blok 2.



Gambar 26. Tampilan Hasil Running Nilai MTTR dengan Software Weibull++

Dari hasil running *software* Weibull++ untuk setiap nilai MTTR dari peralatan kritis pada PLTGU *Steam Turbine* Blok 2 didapatkan hasil nilai parameter

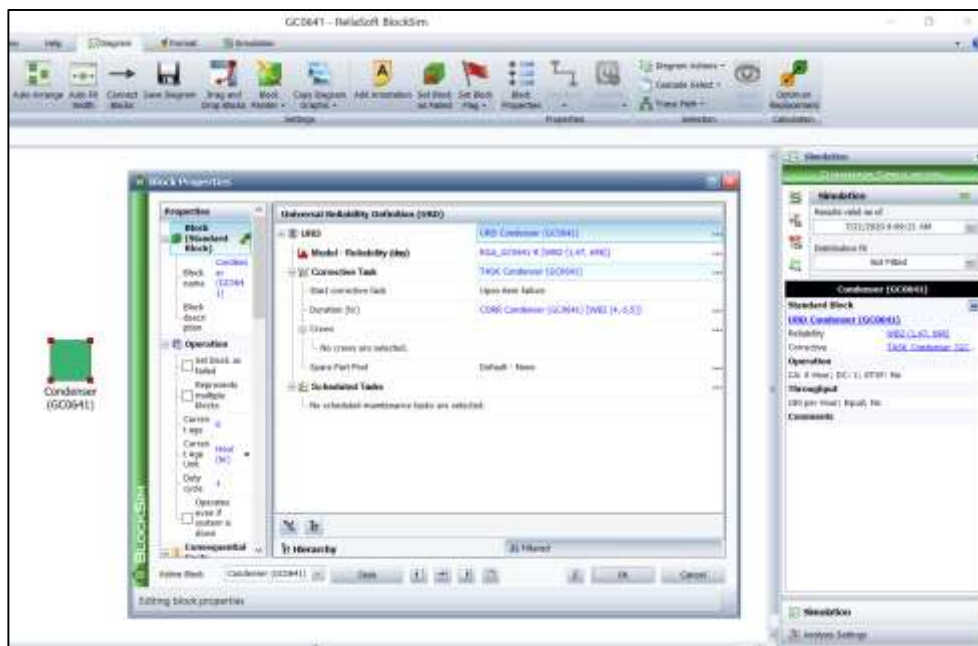
distribusi tiap peralatan seperti pada tabel 19 di bawah ini. Tabel 19 memperlihatkan jenis distribusi yang paling cocok (*fitted*) untuk setiap MTTR dari peralatan kritis dan nilai parameter distribusinya. Data yang dihasilkan menggunakan *software* Weibull++ cenderung memiliki varian distribusi yang berbeda, hal ini disebabkan nilai waktu untuk melakukan perbaikan peralatan yang mengalami kerusakan tidak sama antara satu perbaikan dan perbaikan lainnya, tergantung dari tingkat kerusakan dan tindak lanjut perbaikan yang dilakukan pada peralatan tersebut.

Tabel 19. Hasil *Running* MTTR pada *Software* Weibull++

No. Peralatan	Nama Peralatan	Nilai	Jenis Distribusi
GC0641	CONDENSER	<i>Beta: 3,969444</i>	<i>Weibull 2P</i>
		<i>Eta (hr): 6,469904</i>	
GC0485	LP BOILER FEED PUMP (D)	<i>Beta: 1,803331</i>	<i>Weibull 3P</i>
		<i>Eta (hr): 5,614975</i>	
		<i>Gamma (hr): 0,71</i>	
GC0019	MAIN TRANSFORMER	<i>Beta: 4,37878</i>	<i>Weibull 3P</i>
		<i>Eta (hr): 8,104923</i>	
		<i>Gamma (hr): -0,44</i>	
GC0483	LP BOILER FEED PUMP (B)	<i>Beta: 3,48041</i>	<i>Weibull 3P</i>
		<i>Eta (hr): 6,523619</i>	
		<i>Gamma (hr): 0,92</i>	
GC0484	LP BOILER FEED PUMP (C)	<i>Beta: 2,320369</i>	<i>Weibull 3P</i>
		<i>Eta (hr): 5,632566</i>	
		<i>Gamma (hr): 1,435</i>	
GC0862	SEA WATER BOSTER PUMP (B)	<i>Beta: 1,064119</i>	<i>Weibull 3P</i>
		<i>Eta (hr): 3,968824</i>	
		<i>Gamma (hr): 1,38</i>	
GC0486	HP BOILER FEED PUMP (A)	<i>Beta: 2,974694</i>	<i>Weibull 3P</i>
		<i>Eta (hr): 8,307399</i>	
		<i>Gamma (hr): -0,315</i>	
GC0861	SEA WATER BOSTER PUMP (A)	<i>Beta: 2,020625</i>	<i>Weibull 3P</i>
		<i>Eta (hr): 4,393418</i>	
		<i>Gamma (hr): 0,485</i>	
GC0487	HP BOILER FEED PUMP (B)	<i>Beta: 2,673274</i>	<i>Weibull 2P</i>
		<i>Eta (hr): 7,011274</i>	



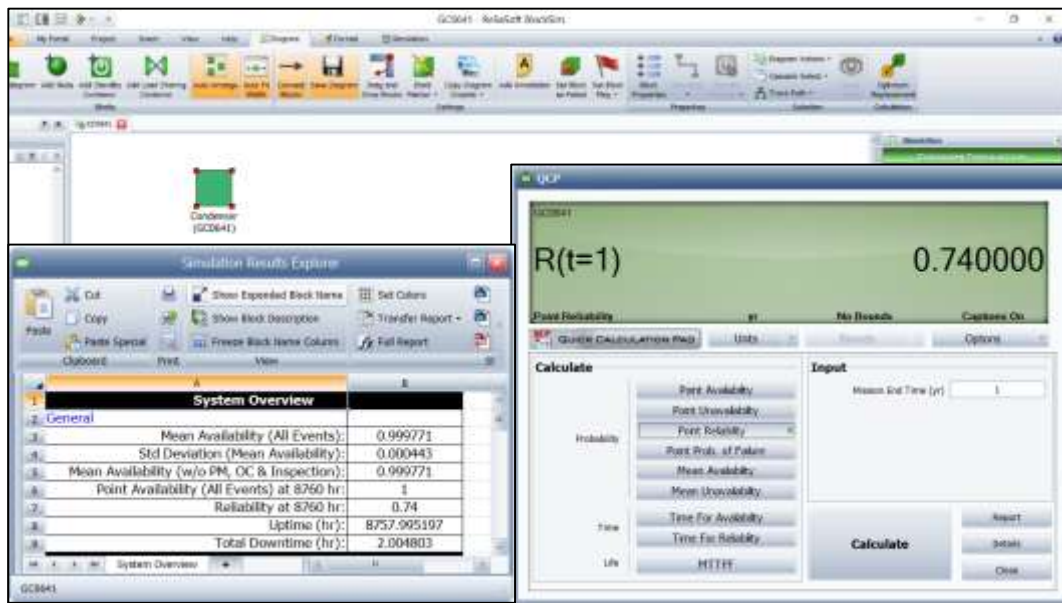
Parameter hasil *running* yang telah didapatkan dari perhitungan waktu antar kerusakan (TBF) pada *software* RGA dan perhitungan waktu antar perbaikan (TTR) dari *software* Weibull++ kemudian dimasukkan kedalam *software* *blocksim* untuk disimulasikan. *Software* *blocksim* merupakan *software* yang digunakan untuk mensimulasikan nilai keandalan dari suatu peralatan dengan mempertimbangkan berbagai aspek operasional dan pemeliharaan pada peralatan. Distribusi yang dihasilkan dari proses *running* RGA dimasukkan kedalam *blocksim* sebagai nilai model *reliability*-nya. Untuk nilai parameter distribusi MTTR dari proses perhitungan pada *software* Weibull++ sebelumnya diinputkan kedalam bagian *corrective task* (*maintenance task*). Nilai MTBF dan MTTR diperlukan untuk mengetahui nilai keandalan/*reliability* peralatan tersebut. Gambar 27 memperlihatkan tampilan isian pada *block diagram* dari peralatan kritis PLTGU *Steam Turbine* Blok 2.



Gambar 27. Tampilan Pengisian Parameter pada Blocksिम.

Pada *software* Blocksिम dapat diinputkan parameter – parameter lain yang lebih spesifik untuk setiap peralatan guna menghasilkan perhitungan nilai keandalan (*reliability*) yang lebih tepat. Selain parameter waktu antar kerusakan dan waktu antar perbaikan dimasukkan pula parameter operasi dan pemeliharaan dari setiap peralatan tersebut, seperti parameter : daya, durasi pemeliharaan

*preventif dan Overhaul*. Dari hasil perhitungan menggunakan *software* Blocksim untuk setiap peralatan kritis di PLTGU *Steam Turbine* Blok 2 didapatkan nilai keandalan (*reliability*) dari tiap peralatan tersebut. Nilai keandalan ini merupakan nilai keandalan yang dihitung untuk proyeksi tahun 2019. Pada gambar 28 dibawah ini merupakan contoh tampilan perhitungan nilai keandalan peralatan kritis dimana dari data kerusakan yang telah diinputkan sampai tahun 2018 diproyeksikan nilai keandalannya di 1 tahun (8760 hari) mendatang yaitu pada tahun 2019.



Gambar 28. Tampilan hasil simulasi perhitungan nilai keandalan pada Blocksim

Dari hasil perhitungan menggunakan *software* blocksim diatas untuk semua peralatan kritis di *Steam Turbine* 2.0 didapatkan hasil nilai keandalan (*reliability*) dari setiap peralatan kritis seperti pada tabel 20 di bawa ini.

Tabel 20. Hasil Perhitungan *Reliability* Peralatan Kritis ST 2.0

No. Peralatan	Nama Peralatan	Nilai <i>Reliability</i>
GC0641	CONDENSER	0,74
GC0485	LP BOILER FEED PUMP (D)	0,74
GC0019	MAIN TRANSFORMER	0,72
GC0483	LP BOILER FEED PUMP (B)	0,54
GC0484	LP BOILER FEED PUMP (C)	0,72

Tabel 20. Hasil Perhitungan *Reliability* Peralatan Kritis ST 2.0 (Lanjutan)

No. Peralatan	Nama Peralatan	Nilai <i>Reliability</i>
GC0862	SEA WATER BOOSTER PUMP (B)	0,77
GC0486	HP BOILER FEED PUMP (A)	0,07
GC0861	SEA WATER BOOSTER PUMP (A)	0,4
GC0487	HP BOILER FEED PUMP (B)	0,34

#### 4.5 Perhitungan EUAC

Nilai EUAC didapatkan dengan menghitung biaya operasi dan pemeliharaan tahunan peralatan dan biaya akuisisi tahunan peralatan. Nilai minimum EUAC sebagai dasar dalam mengambil keputusan melakukan penggantian mesin. Biaya operasional dan pemeliharaan atau *operation & maintenance costs* pada metode ini nilai diasumsikan dengan mengalami peningkatan akibat inflasi. Biaya pemeliharaan juga mempertimbangkan kerusakan yang terjadi pada aset atau peralatan. Perhitungan nilai EUAC peralatan Kritis dilakukan dengan menggunakan rumus berikut :

$$EUAC(i) = \text{Annualized Op \& Maintenance Cost } (i) + \text{Annualized Acquisition Cost } (i) \quad (4.6)$$

Perhitungan biaya *operating* dan *capital recovery* akan di jumlah kemudian diseragamkan sehingga menghasilkan EUAC.

##### 4.5.1 Perhitungan *Annual Acquisition Cost*

Perhitungan biaya ekuivalensi tahunan juga mempertimbangkan biaya akuisisi. Biaya modal mesin memiliki peran penting dalam menentukan umur mesin karena biaya tersebar sepanjang umur mesin. *Biaya annual acquisition cost* di hitung dengan rumus :

$$\text{Annualized Acquisition Cost}(i) = \text{Capital Cost } (A/P, i, n) \quad (4.7)$$

Tabel 21 dibawah ini menunjukkan contoh hasil perhitungan *annual acquisition cost* peralatan kritis *sea water booster pump* (A) yang digunakan untuk

menentukan nilai EUAC dalam analisis penggantian mesin. Perhitungan dihitung berdasarkan persamaan 4.7, contoh perhitungan adalah sebagai berikut:

Diketahui :

Nilai buku peralatan SWBP A (2000) = Rp 1.151.330.091,-

*Annualized Acquisition Cost* (2001) = *Capital Cost* (A/P, 12.5%, 1)

*Annualized Acquisition Cost* (2001)

$$= \text{Rp } 1.151.330.091 \times \frac{0.125(1 + 0.125)^1}{(1 + 0.125)^1 - 1}$$

*Annualized Acquisition Cost* (2001) = Rp 1.151.330.091 x (1.120)

*Annualized Acquisition Cost* (2001) = Rp 1,289,489,702 , -

Tabel 21. Nilai Annual Acquisition Cost Peralatan SWBP (A) PLTGU ST 2.0

Tahun	(A/P,i,n)	Annual Acquisition Cost
2001	1.1200	Rp 1,289,489,702
2002	0.5917	Rp 681,239,843
2003	0.4163	Rp 479,355,110
2004	0.3292	Rp 379,057,514
2005	0.2774	Rp 319,390,172
2006	0.2432	Rp 280,033,089
2007	0.2191	Rp 252,276,843
2008	0.2013	Rp 231,766,019
...	...	...
2056	0.1202	Rp 138,402,235

Tabel 21 menunjukkan nilai *annual acquisition cost* yang menurun setiap tahunnya hingga masa umur pembangkit. Hal ini dikarenakan nilai komponen yang semakin menurun akibat adanya depresiasi. *capital cost* atau harga awal didapat pada Tabel 9. Data selengkapnya dapat dilihat pada lampiran.

#### 4.5.2 Perhitungan *Annual Operation & Maintenance Cost*

Biaya tahunan operasional dan pemeliharaan peralatan atau *annual O&M cost*, merupakan jumlah seluruh biaya pengoperasian (biaya bahan bakar, biaya

tenaga kerja dan biaya konsekuensial) dan biaya pemeliharaan (pemeliharaan *corrective, preventive, predictive dan overhaul*) yang dikonsumsi oleh setiap peralatan kritis yang diseragamkan di tiap tahunnya. Perhitungan biaya operasi dan pemeliharaan di tahun – tahun selanjutnya juga mempertimbangkan faktor inflasi. Adapun rumus perhitungan biaya *annual O&M cost* adalah sebagai berikut:

$$Annual\ O\&M\ Cost\ (i) = (\sum_{n=1}^N O\&M\ Cost_n (P/F, i, n)), (A/P, i, n) \quad (4.8)$$

Tabel 22 menunjukkan contoh hasil perhitungan biaya operasi dan pemeliharaan peralatan *sea water booster pump* (A)

Tabel 22. Perhitungan *annual O&M Cost* peralatan kritis SWBP (A)

Tahun	Biaya Pemeliharaan Corrective	Biaya Pemeliharaan Preventive	Biaya Pemeliharaan Predictive	Biaya Overhaul	Biaya Operasional	Biaya Pemeliharaan	Total Biaya O & M
2001	Rp -	Rp -	Rp -	Rp 2,664,618	Rp 1,880,994	Rp 2,664,618	Rp 4,545,612
2002	Rp 8,870,661	Rp -	Rp -	Rp 105,874,107	Rp 2,161,889	Rp 114,744,768	Rp 116,906,657
2003	Rp -	Rp -	Rp -	Rp 3,050,721	Rp 3,637,150	Rp 3,050,721	Rp 6,687,871
2004	Rp 52,629,261	Rp -	Rp -	Rp 121,215,265	Rp 5,501,509	Rp 173,844,526	Rp 179,346,035
2005	Rp 2,400,000	Rp 66,825,000	Rp -	Rp 3,492,770	Rp 6,368,934	Rp 72,717,770	Rp 12,261,705
2006	Rp 129,940,843	Rp 66,825,000	Rp -	Rp 138,779,357	Rp 6,205,941	Rp 35,545,199	Rp 274,926,140
2007	Rp 3,692,344	Rp 66,825,000	Rp -	Rp 3,998,873	Rp 5,408,599	Rp 74,516,216	Rp 13,099,816
2008	Rp -	Rp 66,825,000	Rp -	Rp 574,879,493	Rp 7,072,583	Rp 641,704,493	Rp 581,952,076
2009	Rp -	Rp 66,825,000	Rp -	Rp 4,578,309	Rp 9,544,295	Rp 71,403,309	Rp 14,122,604
2010	Rp -	Rp 66,825,000	Rp -	Rp 658,179,532	Rp 12,569,704	Rp 725,004,532	Rp 670,749,235
2011	Rp -	Rp 66,825,000	Rp -	Rp 5,241,706	Rp 13,101,075	Rp 72,066,706	Rp 18,342,781
2012	Rp -	Rp 66,825,000	Rp -	Rp 208,270,393	Rp 14,482,012	Rp 275,095,393	Rp 222,752,405
2013	Rp -	Rp 66,825,000	Rp 1,548,316	Rp -	Rp 13,845,301	Rp 68,373,316	Rp 13,845,301
2014	Rp -	Rp 66,825,000	Rp 1,548,316	Rp 862,739,104	Rp 15,476,551	Rp 931,112,420	Rp 878,215,654
2015	Rp 56,614,000	Rp 66,825,000	Rp 1,548,316	Rp 6,870,807	Rp 19,340,927	Rp 131,858,123	Rp 82,825,734
2016	Rp -	Rp 66,825,000	Rp 1,548,316	Rp 273,000,000	Rp 21,216,106	Rp 341,373,316	Rp 294,216,106
2017	Rp 13,612,379	Rp 66,825,000	Rp 1,548,316	Rp -	Rp 22,382,992	Rp 81,985,695	Rp 35,995,370
2018	Rp 6,933,099	Rp 66,825,000	Rp 1,548,316	Rp 8,417,035	Rp 23,614,056	Rp 83,723,450	Rp 38,964,190
2019	Rp 5,917,123	Rp 66,825,000	Rp 1,548,316	Rp1,210,036,223	Rp 24,912,829	Rp1,284,326,662	Rp1,240,866,175
2020	Rp 29,259,052	Rp 66,825,000	Rp 1,548,316	Rp 10,311,229	Rp 26,283,035	Rp 107,943,597	Rp 65,853,316
...	...	...	...	...	...	...	...
2056	Rp -	Rp 66,825,000	Rp 1,548,316	Rp -	Rp 180,619,259	Rp 68,373,316	Rp 317,365,891


### 4.5.3 Nilai EUAC

Dari perhitungan nilai *annual operational & maintenance cost* dan *annual acquisition cost* diatas, dapat dihitung besaran nilai EUAC dari setiap peralatan kritis di PLTGU ST 2.0. Pada tabel 23 di bawah ini merupakan contoh hasil perhitungan EUAC dari peralatan kritis *sea water booster pump* (A). Dari hasil perhitungan EUAC peralatan kritis dapat ditentukan nilai minimum EUAC dan umur ekonomis dari masing – masing peralatan kritis tersebut.

Tabel 23. Perhitungan EUAC Peralatan Kritis SWBP (A)

Tahun	Biaya O & M	(P/F, i, n)	Annual O & M Cost	Annual Acquisition Cost	EUAC
2001	Rp 4,545,612	Rp 4,213,512	Rp 4,472,404	Rp 1,289,489,702	Rp 1,293,962,106
2002	Rp 116,906,657	Rp 104,661,919	Rp 57,201,944	Rp 681,239,843	Rp 738,441,786
2003	Rp 6,687,871	Rp 109,988,439	Rp 41,257,665	Rp 479,355,110	Rp 520,612,775
2004	Rp 179,346,035	Rp 242,391,918	Rp 70,183,547	Rp 379,057,514	Rp 449,241,060
2005	Rp 12,261,705	Rp 250,782,853	Rp 59,768,862	Rp 319,390,172	Rp 379,159,034
2006	Rp 274,926,140	Rp 425,175,215	Rp 86,857,179	Rp 280,033,089	Rp 366,890,268
2007	Rp 13,099,816	Rp 432,877,658	Rp 77,941,755	Rp 252,276,843	Rp 330,218,597
2008	Rp 581,952,076	Rp 750,055,219	Rp 121,476,633	Rp 231,766,019	Rp 353,242,652
2009	Rp 14,122,604	Rp 757,190,021	Rp 112,024,003	Rp 216,080,352	Rp 328,104,355
2010	Rp 670,749,235	Rp 1,071,298,187	Rp 146,551,901	Rp 203,767,194	Rp 350,319,095
2011	Rp 18,342,781	Rp 1,079,260,443	Rp 137,854,393	Rp 193,901,723	Rp 331,756,115
2012	Rp 222,752,405	Rp 1,168,888,762	Rp 140,526,736	Rp 185,867,054	Rp 326,393,791
2013	Rp 13,845,301	Rp 1,174,052,654	Rp 133,741,374	Rp 179,235,839	Rp 312,977,214
2014	Rp 878,215,654	Rp 1,477,670,876	Rp 160,398,709	Rp 173,702,606	Rp 334,101,315
2015	Rp 82,825,734	Rp 1,504,213,500	Rp 156,341,664	Rp 169,043,165	Rp 325,384,829
2016	Rp 294,216,106	Rp 1,591,610,577	Rp 159,057,797	Rp 165,089,243	Rp 324,147,039
2017	Rp 35,995,370	Rp 1,601,745,598	Rp 154,469,001	Rp 161,712,057	Rp 316,181,058
2018	Rp 38,964,190	Rp 1,612,144,589	Rp 150,509,693	Rp 158,811,377	Rp 309,321,070
2019	Rp 1,240,866,175	Rp 1,926,049,444	Rp 174,566,734	Rp 156,308,033	Rp 330,874,766
2020	Rp 65,853,316	Rp 1,941,840,031	Rp 171,287,217	Rp 154,138,668	Rp 325,425,885
...	...	...	...	...	...
2056	Rp 180,619,259	Rp 4,449,651,365	Rp 283,452,705	Rp 138,402,235	Rp 421,854,940

Keterangan :

 = Umur Ekonomis

Tabel 23 diatas memperlihatkan nilai minimum EUAC atau biaya ekuivalen tahunan dari peralatan *sea water booster pump* (A) terjadi di tahun 2018, hal ini menunjukkan umur ekonomis peralatan dengan nilai minimum EUAC peralatan sebesar Rp 309.321.070,-. Nilai EUAC peralatan kritis lainnya dapat dilihat pada lampiran.

#### 4.6 Analisis Hasil Perhitungan

Dari perhitungannya sebelumnya, didapatkan nilai minimum EUAC, nilai keandalan dan umur ekonomis dari setiap peralatan kritis di PLTGU ST 2.0. Nilai – nilai ini yang selanjutnya akan digunakan untuk merumuskan strategi penggantian maupun pemeliharaan dari peralatan – peralatan tersebut. Tabel 24 menunjukkan hasil rekap nilai minimum EUAC, umur ekonomis dan nilai keandalan peralatan kritis di PLTGU ST 2.0

Tabel 24. Nilai minimum EUAC, umur ekonomis dan keandalan Peralatan Kritis

No. Peralatan	Nama Peralatan	Tahun Umur Ekonomis	Min EUAC	Nilai Keandalan
GC0641	Condenser	2030	Rp 2,857,951,343	0,74
GC0485	LP Boiler Feed Pump (D)	2027	Rp 208,657,207	0,74
GC0019	Main Transformer	2035	Rp 2,154,601,978	0,72
GC0483	LP Boiler Feed Pump (B)	2027	Rp 187,248,954	0,54
GC0484	LP Boiler Feed Pump (C)	2024	Rp 307,150,038	0,72
GC0862	Sea Water Booster Pump (B)	2027	Rp 195,715,314	0,77
GC0486	HP Boiler Feed Pump (A)	2024	Rp 305,249,686	0,07
GC0861	Sea Water Booster Pump (A)	2018	Rp 309,321,070	0,4
GC0487	HP Boiler Feed Pump (B)	2024	Rp 328,130,507	0,34

Tabel 24 menunjukan umur ekonomis peralatan Condensor terjadi pada tahun 2030, dimana nilai keandalan peralatan tersebut dilihat dari tahun pengamatan saat ini (2020) adalah 0.74. Sedangkan umur ekonomis untuk peralatan kritis *LP Boiler Feed Pump* (D), *LP Boiler Feed Pump* (B) dan *Sea Water Booster Pump* (B) jatuh pada tahun 2027 dengan nilai keandalan masing – masing adalah 0.74, 0.54 dan 0.77. Peralatan *Main Transformer* mencapai umur ekonomis nya pada tahun 2035

dengan nilai keandalan peralatan saat ini adalah 0.72. Untuk peralatan *LP Boiler Feed Pump* (C), *HP Boiler Feed Pump* (A) dan *HP Boiler Feed Pump* (B) memiliki umur ekonomis yang sama yaitu pada tahun 2024 dengan nilai keandalan saat ini adalah 0.72, 0.07 dan 0.34. *Sea Water Booster Pump* (A) memiliki umur ekonomis pada tahun 2018 dengan nilai keandalan saat ini 0.4.

Dari hasil rekap nilai EUAC dan keandalan peralatan kritis diatas dapat dilihat peralatan *sea water booster pump* (A) merupakan satu – satunya peralatan yang kondisinya saat ini telah melampaui umur ekonomisnya. Selain itu, terdapat 3 peralatan yang kondisinya mendekati umur ekonomisnya yaitu *LP Boiler Feed Pump* (C), *HP Boiler Feed Pump* (A) dan *HP Boiler Feed Pump* (B). Dari nilai keandalannya terdapat 4 peralatan yang memiliki nilai keandalan yang relatif rendah jika dibandingkan dengan peralatan lainnya yaitu peralatan *HP Boiler Feed Pump* (A) dan *HP Boiler Feed Pump* (B), *Sea Water Booster Pump* (A) dan *LP Boiler Feed Pump* (B) dengan nilai keandalan masing – masing yaitu 0.07, 0.34, 0.4 dan 0.54. Batasan tahun pengamatan dari umur ekonomis serta standart nilai keandalan yang akan digunakan dalam merumuskan strategi penggantian dan evaluasi pemeliharaan peralatan kritis di PT. PJB akan dibahas pada bagian selanjutnya pada Bab ini.

#### **4.7 Perumusan Strategi Penggantian Peralatan**

Perumusan strategi dalam penelitian ini dilakukan melalui *Focus Group Discussion* (FGD) dan diskusi *expertise*. Perumusan startegi dilakukan untuk merumuskan prosedur penggantian peralatan aset pembangkit, melalui penentuan batasan – batasan dari setiap parameter yang digunakan. Adapun para pihak yang hadir dalam FGD dan diskusi ini anantara lain : Manajer Bidang Operasi Pembangkit, Manajer Bidang Pemeliharaan Pembangkit, Manajer Bidang Enjiniring Pembangkit, Manajer Keuangan, *expertise* bidang pemeliharaan, *expertise* bidang operasi, operator, staf bidang pemeliharaan dan engineer pembangkit.

Perumusan strategi difokuskan pada penentuan batasan dari parameter yang digunakan dalam evaluasi penggantian peralatan ini, yaitu: batasan nilai keandalan



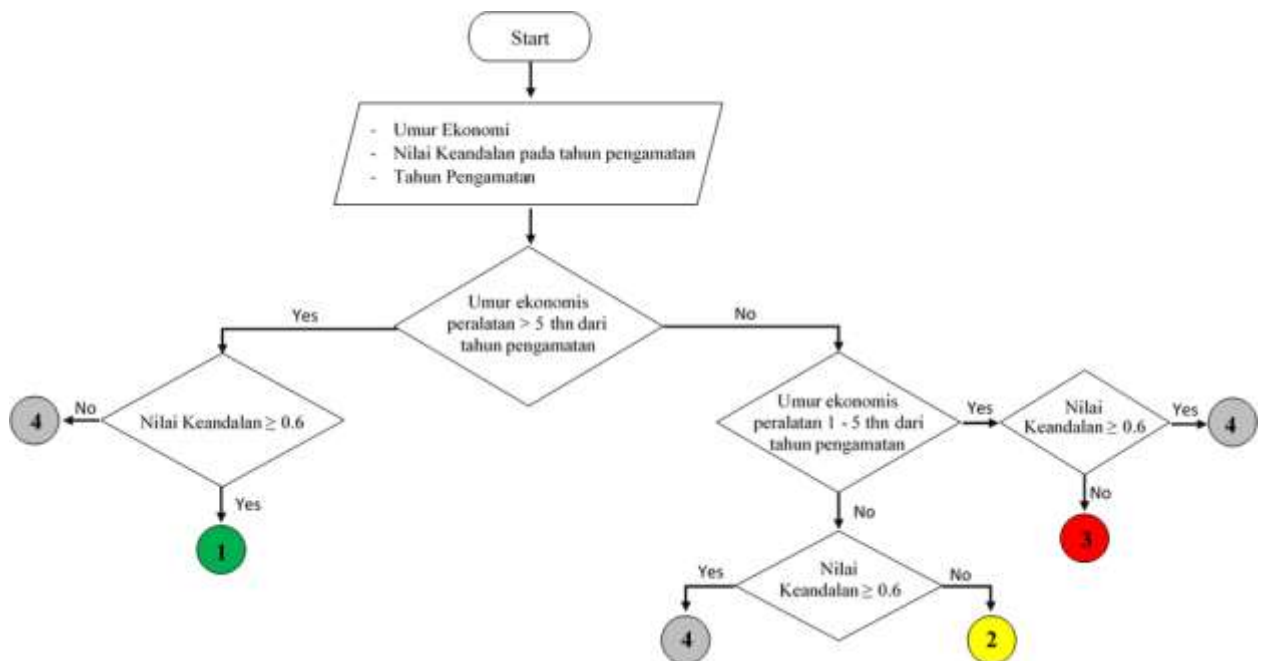
dan batasan umur ekonomis yang diharapkan. Batasan nilai keandalan adalah batas nilai keandalan peralatan yang diperbolehkan oleh pembangkit untuk tetap dioperasikan sebagai mana mestinya (tidak membutuhkan proses evaluasi pemeliharaan). Batasan umur ekonomis adalah batas rentang tahun yang di gunakan untuk menentukan suatu peralatan tetap digunakan, dipersiapkan untuk penggantian maupun harus segera diganti.

Perumusan batasan nilai keandalan dilakukan dengan menggunakan *software* reliasoft. Batasan nilai keandalan yang diizinkan oleh pembangkit diambilkan dari perhitungan nilai rata – rata keandalan komponen kritis *steam turbine* untuk melakukan waktu *overhaul* optimumnya. Dari perhitungan tersebut didapatkan rata – rata nilai keandalan yang disepakati untuk menjadi nilai batasan dalam proses analisis pemeliharaan dan pengantian di PT. PJB adalah 0.6. Nilai ini yang akan digunakan untuk menentukan apakah peralatan tersebut tetap mempertahankan proses pemeliharaan yang ada atau memerlukan proses evaluasi pemeliharaan.

Batasan umur ekonomis pada penelitian ini, disepakati mengacu pada jangka waktu perencanaan proses penyusunan Rencana Jangka Panjang Unit (RJPU) dan Rencana Kerja Anggaran Unit (RKAU) yang ada di PT. PJB Unit Pembangkitan Gresik. Di PT. PJB Rencana Jangka Panjang Unit (RJPU) disusun dan berlaku untuk jangka waktu 5 tahun dan Rencana Kerja Anggaran Unit (RKAU) merupakan penjabaran dan penganggaran program dari perencanaan yang termuat dalam RJPU yang bersifat tahunan. Dalam RJPU dan RKAU termasuk memuat tentang program – program penggantian dan pengadaan aset baru peralatan pembangkit. Sehingga, dari acuan ini diputuskan batasan jarak waktu antar umur ekonomis hasil perhitungan dan waktu pengamatan tahunan adalah di rentang 1 – 5 tahun. Batasan jarak waktu ini yang kemudian akan digunakan untuk memutuskan kapan peralatan tersebut harus segera dilakukan proses analisa penggantian, dipersiapkan untuk diganti ataupun tetap dipertahankan.

Dari hasil FGD dan perumusan nilai batasan setiap parameter di atas, didapatkan hasil *flowchart* prosedur penggantian peralatan yang dapat di terapkan

di PT. PJB Unit Pembangkitan Gresik. Gambar 29 di bawah ini merupakan *flowchart* prosedur penggantian peralatan yang dihasilkan dari perumusan di atas.



**Keterangan :**

- 1 = Kategori 1
- 2 = Kategori 2
- 3 = Kategori 3
- 4 = Kategori 4

Gambar 29. *Flowchart* Prosedur Penggantian Peralatan Pembangkit

Dari gambar diatas dapat dilihat prosedur pengklasifikasian peralatan pembangkit sesuai dengan parameter dan batasan nilai parameter yang telah dirumuskan sebelumnya. Parameter yang digunakan adalah nilai keandalan, umur ekonomis dan tahun pengamatan. Setiap peralatan akan di evaluasi kondisinya setiap tahun (tahun ke-n) dan melihat nilai keandalan peralatan tersebut pada tahun ke-n dan di ukur rentang tahun pengamatan dan tahun umur ekonomisnya. Dari *flowchart* diatas dihasilkan 4 kategori klasifikasi peralatan. Adapun penjabaran dan strategi untuk masing – masing klasifikasi kategori adalah sebagai berikut :

### **Kategori 1 - Keep and Improve / Keep as It Is**

Kategori 1 merupakan kategori hijau atau masuk dalam kategori *Keep & Improve*. Peralatan pada kategori ini merupakan peralatan yang memiliki nilai keandalan pada tahun pengamatan lebih dari atau sama dengan nilai 0.6 dan jarak antara tahun umur ekonomis dan tahun pengamatannya lebih dari 5 tahun. Peralatan pada kategori ini dapat dipertahankan atau ditingkatkan proses pemeliharannya dan belum membutuhkan proses kajian penggantian lebih lanjut.

### **Kategori 2 – Prepare for Replacement Analysis**

Kategori 2 diklasifikasikan sebagai kategori kuning (*Get Ready for Replacement Analysis*). Peralatan pada kategori ini adalah peralatan yang rentang waktu antara tahun umur ekonomis dan tahun pengamatannya berada diantara 1 - 5 tahun dan nilai keandalan kurang dari 0,6. Peralatan dalam kategori ini dapat segera dipersiapkan atau direncanakan untuk dilakukan analisis penggantian peralatan.

### **Kategori 3 – Do Replacement Analysis Immediately**

Kategori 3 merupakan kategori merah (*Do Replacement Analysis Immediately*). Peralatan ini masuk kategori merah karena peralatan pada kategori ini memiliki nilai keandalan dibawah 0.6 dan rentang waktu antara tahun umur ekonomis dan tahun pengamatannya kurang dari satu tahun atau bahkan tahun umur ekonomis sudah melewati tahun pengamatannya. Peralatan pada kategori ini dapat segera dilakukan analisis penggantian lebih lanjut untuk dapat segera di ganti.

### **Kategori 4 – Need Future Analysis**

Kategori 4 merupakan kategori abu – abu (*Need Future Analysis*). Peralatan yang masuk kategori ini adalah peralatan yang kondisinya membutuhkan analisis pemeliharaan lebih lanjut. Adapun kriteria peralatan yang masuk kategori ini antara lain :

1. Memiliki rentang waktu antara tahun umur ekonomis dan tahun pengamatannya lebih dari 5 tahun, namun nilai keandaalan pada tahun pengamatankurang dari nilai 0,6.

2. Peralatan yang rentang waktu antara tahun umur ekonomis dan tahun pengamatannya berada diantara 1 - 5 tahun dan nilai keandalannya lebih dari atau sama dengan 0,6.
3. Memiliki nilai keandalan lebih dari sama dengan 0.6 namun rentang waktu antara tahun umur ekonomis dan tahun pengamatannya kurang dari satu tahun atau bahkan tahun umur ekonomis sudah melewati tahun pengamatannya.

Untuk peralatan dalam kategori ini terdapat beberapa analisis evaluasi yang dapat dilaksanakan untuk menentukan tindak lanjut penanganan kondisi tersebut. Evaluasi dan analisis yang dapat dilakukan antara lain :

- Evaluasi Kegiatan *Unplanned Maintenance (Corrective Maintenance)* mencakup porsi biaya material dan tenaga kerja
- Evaluasi kegiatan *Maintenance* terjadwal (*Preventive, Predictive, dan Overhaul*) ) mencakup porsi biaya material dan tenaga kerja
- Apabila kegiatan *maintenance* terjadwal masih kurang optimal maka diperlukan optimalisasi untuk meningkatkan *reliability* dari peralatan sehingga kegagalan peralatan kedepan dapat dihindari
- Evaluasi kegiatan *Project* yang telah dilakukan
- Evaluasi biaya Operasional terkait biaya yang timbul akibat Pemakaian Sendiri / konsumsi bahan bakar dan juga rugi – rugi (*losses*) akibat efisiensi
- Evaluasi kejadian *Outage/Derating* yang pernah terjadi yang mempengaruhi biaya konsekuensial.

#### **4.8 Pemetaan Kondisi Peralatan *Steam Turbin***

Dari hasil perumusan strategi pada bagian sebelumnya, dapat dipetakan kondisi setiap peralatan kritis PLTGU *Steam Turbin* unit 2 sesuai dengan kategori kondisi peralatan berdasarkan parameter – parameter yang telah ditentukan. Tabel 25 dibawah ini merupakan gambaran kondisi pemetaan peralatan kritis PLTGU *Steam Turbin* unit 2.

Tabel 25. Pemetaan Peralatan kritis PLTGU Steam Turbin 2.0

No Peralatan	Nama Peralatan	Umur Ekonomi	Nilai Keandalan	Klasifikasi
GC0641	Condenser	2030	0,74	Kategori 1
GC0485	LP Boiler Feed Pump (D)	2027	0,74	Kategori 1
GC0019	Main Transformer	2035	0,72	Kategori 1
GC0483	LP Boiler Feed Pump (B)	2027	0,54	Kategori 4
GC0484	LP Boiler Feed Pump (C)	2024	0,72	Kategori 4
GC0862	Sea Water Booster Pump (B)	2027	0,77	Kategori 1
GC0486	HP Boiler Feed Pump (A)	2024	0,07	Kategori 4
GC0861	Sea Water Booster Pump (A)	2018	0,4	Kategori 3
GC0487	HP Boiler Feed Pump (B)	2024	0,34	Kategori 4

Tabel 25 diatas menunjukkan terdapat 4 peralatan yang masuk dalam kategori 1 antara lain; Condenser, LP *Boiler Feed Pump* (D), *Main Transformer* dan *Sea Water Booster Pump* (B). Peralatan – peralatan yang masuk dalam kategori 1 ini dapat tetap dipertahankan proses pemeliharaan dan pengoperasiannya. Terdapat 4 peralatan yang masuk dalam kategori 4 yaitu: LP *Boiler Feed Pump* (B), LP *Boiler Feed Pump* (C), HP *Boiler Feed Pump* (A) dan HP *Boiler Feed Pump* (B). Peralatan pada kategori 4 ini adalah peralatan yang membutuhkan kajian lebih lanjut terkait evaluasi proses pemeliharaan dari setiap peralatan tersebut. Terdapat 1 peralatan yang masuk dalam kategori 3 yaitu peralatan *Sea Water Booster Pump* (A). Dari Kategori 3 ini, peralatan *Sea Water Booster Pump* (A) diharapkan dapat segera dilakukan analisis penggantian peralatan mengingat kondisi umur ekonomis dan nilai keandalannya sudah berada di bawah nilai batasannya.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai kesimpulan dari penelitian dan pengembangan konsep berdasarkan hasil analisis dan perhitungan. Bab ini juga akan memberikan saran untuk pengembangan model terkait kepemilikan aset, di masa yang akan datang.

#### **5.1 Kesimpulan**

Adapun kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pengolahan data histori kerusakan peralatan yang menyebabkan peralatan tidak dapat beroperasi (downtime) dapat digunakan untuk menghitung parameter – parameter distribusi untuk melihat trend laju kerusakan dan nilai keandalan peralatan kritis di PLTGU *Steam Turbine* Unit 2. Dari penelitian ini didapatkan nilai keandalan dari setiap peralatan kritis di tahun pengamatan adalah Condensor 0,74, LP *Boiler Feed Pump* (D) 0,74, *Main Transformer* 0,72, LP *Boiler Feed Pump* (B) 0,54, LP *Boiler Feed Pump* (C) 0,72, *Sea Water Booster Pump* (B) 0,77, HP *Boiler Feed Pump* (A) 0,07, *Sea Water Booster Pump* (A) 0,4 dan HP *Boiler Feed Pump* (B) 0,34.
2. Perhitungan Nilai biaya ekuivalen tahunan (EUAC) berfungsi untuk melihat nilai biaya ekuivalen tahunan yang dikonsumsi oleh setiap peralatan kritis dan menentukan umur ekonomis peralatan. Adapun Nilai biaya ekuivalen tahunan dan umur ekonomi dari setiap peralatan kritis di PLTGU *Steam Turbine* Unit 2 yang didapat dari penelitian ini, antara lain : Condensor memiliki nilai *minimum* EUAC Rp 2,857,951,343 dengan umur ekonomis pada tahun 2030, LP *Boiler Feed Pump* (D) memiliki nilai *minimum* EUAC Rp 208,657,207 dengan umur ekonomis pada tahun 2027, *Main Transformer* memiliki nilai *minimum* EUAC Rp 2,154,601,978 dengan umur ekonomis pada tahun 2035, LP *Boiler Feed Pump* (B) memiliki nilai *minimum* EUAC Rp 187,248,954 dengan umur ekonomis pada tahun 2027, LP *Boiler Feed*

*Pump (C)* memiliki nilai *minimum* EUAC Rp 307,150,038 dengan umur ekonomis pada tahun 2024, *Sea Water Booster Pump (B)* memiliki nilai *minimum* EUAC Rp 195,715,314 dengan umur ekonomis pada tahun 2027, *HP Boiler Feed Pump (A)* memiliki nilai *minimum* EUAC Rp 305,249,686 dengan umur ekonomis pada tahun 2024, *Sea Water Booster Pump (A)* memiliki nilai *minimum* EUAC Rp 309,321,070 dengan umur ekonomis pada tahun 2018 dan *HP Boiler Feed Pump (B)* memiliki nilai *minimum* EUAC Rp 328,130,507 dengan umur ekonomis pada tahun 2024.

3. Perumusan strategi dengan penggunaan parameter nilai keandalan dan umur ekonomis peralatan dapat digunakan untuk merumuskan batasan nilai – nilai setiap parameter untuk mengklasifikasikan setiap peralatan pada sistem PLTGU Steam Turbin 2.0 sehingga didapat kategori – kategori kondisi peralatan yang membantu proses pengambilan keputusan dalam melakukan prosedur penggantian peralatan dan evaluasi pemeliharaan peralatan. Dari perumusan strategi didapatkan 4 kategori klasifikasi peralatan yaitu : Kategori 1 (*Keep and Improve*), Kategori 2 (*Prepare for Replacement Analysis*), Kategori 3 (*Do Replacement Analysis Immediately*), Kategori 4 (*Need Future Analysis*).
4. Perumusan strategi dan analisis kondisi peralatan yang dilakukan berdasarkan parameter – parameter yang digunakan dalam penelitian, didapatkan 4 peralatan kritis (*critical*) yang masuk klasifikasi kategori 1 yaitu peralatan yang dapat dipertahankan atau ditingkatkan proses pemeliharaannya dan belum membutuhkan proses kajian penggantian lebih lanjut. 4 peralatan kritis yang masuk kategori 4 yaitu peralatan yang kondisinya membutuhkan analisis pemeliharaan lebih lanjut dan 1 peralatan yang masuk dalam kategori 3 yaitu peralatan yang harus segera dianalisis untuk dapat dilakukan penggantian.

## **5.2 Saran**

Saran yang dapat dilakukan untuk pengembangan dari hasil penelitian ini adalah:

1. Penelitian selanjutnya dapat dilakukan untuk memberikan pedoman analisis kajian penggantian peralatan aset pembangkit
2. Pemilahan dan pengolahan data dalam penelitian ini sangat mempengaruhi hasil akhir pengambilan keputusan, dibutuhkan proses pemilahan data yang lebih mendalam dan tervalidasi untuk mendapatkan hasil yang lebih komprehensif.



## DAFTAR PUSTAKA

- Barringer , P., 1998. Life Cycle Cost and Good Practies. San Antonio, NPRA Maintenance Conference.
- Barringer, P. & Weber, D., 1996. Life Cycle Cost Tutorial. Fifth International Conference on Process Plant Reliability. Texas, Gulf Publishing Company.
- Chowdhury, B. & Raghavan, S., 2012. Developing Life Cycle Management Plans For Power Plant Components, U.S: North American Power Symposium.
- Daryus, Asyari, 2007, Diktat Manajemen Pemeliharaan Mesin, Universitas Darma Persada – Jakarta.
- Davidson, J., 1988. The Reliability of Mechanical Systems. London: Mechanical Engineering Publications Limited for The Institution of Mechanical Engineers.
- Davis, R., 2014. An Introduction to Asset Management. s.l.:Blah d Blah design.
- de Jong, G. et al., n.d. Journal of Choice Modelling. The impact of fixed and variable cost on household car ownership, 2(2), pp. 173-199.
- Dhillon, 2010. Life Cycle Costing for Engineers. United Stated: Taylor and Francis Group.
- Ebeling, Charles E. 1997. An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering.Singapore : The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Elsayed, E. A., 2012. *Reliability Engineering*. Second ed. USA: John Wilcy & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Farr, John V., 2011. Systems lifecycle costing: Economic Analysis, Estimation, and Management. CRC Press.
- Frenning, L., 2001. Pump Life Cycle Cost. a guide to LCC analysis for pumping systemns, p. 194.

- Freselam Mulubrhan, Ainul Akmar Binti Mokhtar and Masdi Muhammad. Replacement Analysis Using Probabilistic Life Cycle Costing. *ARPJN Journal of Engineering and Applied Sciences*, Vol. 11, 2016.
- Igor G. Cesca, Douglas D. Novaes., *Physical Assets Replacement: an Analytical Approach*. Universidade Estadual de Campinas, 2012.
- Ireson, W. G., Clyde, F. C., Jr. & Richard, Y. M., 1996. *Handbook of Reliability Engineering and Management*. 2nd ed. s.l.:McGraw-Hill.
- Joseph C. Hartman and Alison Murphy. Finite-horizon equipment replacement analysis. v *IIE Transactions* 38, 409–419, 2016.
- Konstantinos J.Liapis, Dimitrios D.kantianis., *Depreciation Methods and Life Cycle Costing Analysis Methodology*. *Procedia Economis and Finance* 19 312-324, 2015.
- Laxman Yadu Waghmod, Rajkumar Bhimgonda Patil. *Reliability Analysis and Life Cycle Cost Optimization: a Case Study from Indian Industry*. *International Journal of Quality & Reliability Management* Vol. 33, 2016.
- Lewis, E. E., (1998), *Introduction to Reliability Engineering*, John Wiley & Sons, First Edition, New York.
- L. Saad, A. Aissani, A. Chateauneuf. *Reliability-Based Optimization of Direct and Indirect LCC of RC Bridge Elements Under Coupled Fatigue-Corrosion Deterioration Processes*. *Engineering Failure Analysis*, 2015.
- Madhu Jain, Alok Kumar And G. C. Sharma., *Maintenance Cost Analysis for Replacement Model With Perfect/Minimal Repair*. *International Journal of Engineering*, 2002.
- Massoud Bazargan, Joseph Hartman., *Aircraft replacement strategy : Model and analysis*. *Journal of Air Transport Management* 25, 2012.
- Moubray, John. 1992. “Reliability Centered Maintenance”. Industrial Press Inc, New York
- Park, C. S., 2007. *Engineering Economics*. United Stated : Pearson Prentice Hall.

Pembangkit Listrik Jawa Bali, 2017. *Annual Report*, s.l.: s.n.

Pujawan, I. N., 2009. *Ekonomi Teknik*. Surabaya: Guna Widya.

Sullivan, W. G., Wicks, E. M. & Koelling, P. C., 2003. *Engineering Economy*.  
United States: Pearson Prentice Hall.

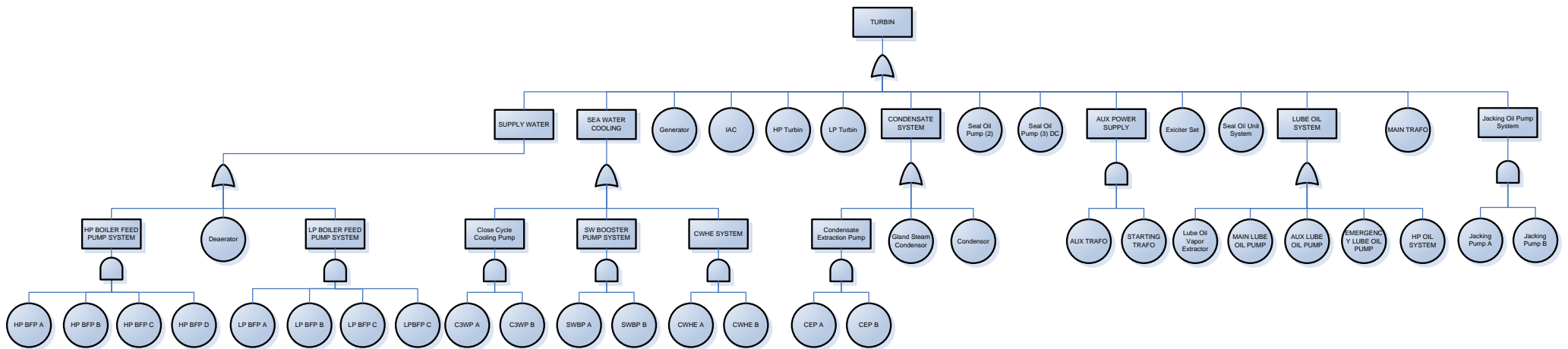
Woodward, D., 1997. Information Acquisition and Application International  
Journal of Project Management. *Life Cycle Costing-Theory*, 6(15), pp.  
335-344.

Yue Shang, Martine van den Boomen, Amy de Man. Reliability-Based Life Cycle  
Costing Analysis for Embedded Rails in Level Crossings. *Proc IMechE*,  
Part F: J Rail and Rapid Transit, 2019.

# LAMPIRAN

## Lampiran A

### Fault Tree Analysis Sistem Steam turbine PLTGU



Lampiran B - Biaya Total Tenaga Kerja per Unit

<b>Tahun</b>	<b>Total Biaya Tenaga Kerja Unit</b>	<b>Mata Uang</b>
2000	8,585,736,622.00	IDR
2001	11,532,753,014.00	IDR
2002	13,254,976,747.00	IDR
2003	22,300,096,033.10	IDR
2004	33,730,849,063.00	IDR
2005	39,049,210,281.00	IDR
2006	38,049,864,787.00	IDR
2007	33,161,204,264.00	IDR
2008	43,363,421,250.00	IDR
2009	58,517,979,879.00	IDR
2010	77,067,365,700.00	IDR
2011	80,325,312,365.00	IDR
2012	88,792,109,187.10	IDR
2013	84,888,311,783.76	IDR
2014	94,889,826,394.51	IDR
2015	118,583,089,323.14	IDR
2016	130,080,186,186.00	IDR

Lampiran C

1. Perhitungan Nilai EUAC Peralatan Kritis Condenser

Tahun	Biaya O & M	(P/f,I,n)	Annual O & M Cost	Annual Acquisition Cost	EUAC
2001	Rp 523,868,551	Rp 485,595,028	Rp 515,431,499	Rp 20,975,788,814	Rp 21,491,220,313
2002	Rp 64,706,077	Rp 541,191,711	Rp 295,783,013	Rp 11,081,548,808	Rp 11,377,331,821
2003	Rp 434,126,440	Rp 886,949,482	Rp 332,702,830	Rp 7,797,543,115	Rp 8,130,245,945
2004	Rp 110,371,251	Rp 968,431,838	Rp 280,405,311	Rp 6,166,028,577	Rp 6,446,433,888
2005	Rp 750,179,317	Rp 1,481,794,889	Rp 353,154,904	Rp 5,195,435,672	Rp 5,548,590,576
2006	Rp 124,855,530	Rp 1,560,993,799	Rp 318,888,574	Rp 4,555,224,378	Rp 4,874,112,952
2007	Rp 579,478,789	Rp 1,901,716,345	Rp 342,413,395	Rp 4,103,720,852	Rp 4,446,134,247
2008	Rp 142,416,822	Rp 1,979,336,861	Rp 320,567,301	Rp 3,770,076,686	Rp 4,090,643,987
2009	Rp 1,002,785,787	Rp 2,485,948,668	Rp 367,788,684	Rp 3,514,922,085	Rp 3,882,710,769
2010	Rp 235,802,795	Rp 2,596,373,816	Rp 355,179,840	Rp 3,314,627,188	Rp 3,669,807,029
2011	Rp 857,366,048	Rp 2,968,540,272	Rp 379,172,903	Rp 3,154,148,173	Rp 3,533,321,076
2012	Rp 235,575,063	Rp 3,063,328,011	Rp 368,280,970	Rp 3,023,450,342	Rp 3,391,731,312
2013	Rp 263,604,275	Rp 3,161,644,691	Rp 360,156,510	Rp 2,915,582,114	Rp 3,275,738,624
2014	Rp 1,440,459,404	Rp 3,659,642,785	Rp 397,248,121	Rp 2,825,574,461	Rp 3,222,822,583
2015	Rp 358,562,352	Rp 3,774,548,929	Rp 392,310,838	Rp 2,749,780,575	Rp 3,142,091,413
2016	Rp 1,248,716,795	Rp 4,145,481,029	Rp 414,279,151	Rp 2,685,463,157	Rp 3,099,742,309
2017	Rp 364,098,218	Rp 4,247,998,188	Rp 409,668,077	Rp 2,630,527,369	Rp 3,040,195,446
2018	Rp 437,962,543	Rp 4,364,884,193	Rp 407,505,248	Rp 2,583,342,781	Rp 2,990,848,028
2019	Rp 2,072,472,690	Rp 4,889,162,518	Rp 443,127,321	Rp 2,542,621,536	Rp 2,985,748,857
2020	Rp 493,494,188	Rp 5,007,494,645	Rp 441,704,676	Rp 2,507,333,051	Rp 2,949,037,727

Tahun	Biaya O & M	(P/f,I,n)	Annual O & M Cost	Annual Acquisition Cost	EUAC
2021	Rp 1,807,113,794	Rp 5,418,222,038	Rp 466,179,129	Rp 2,476,643,065	Rp 2,942,822,194
2022	Rp 475,861,810	Rp 5,520,739,196	Rp 464,242,085	Rp 2,449,869,293	Rp 2,914,111,378
2023	Rp 582,831,914	Rp 5,639,755,532	Rp 464,342,799	Rp 2,426,448,628	Rp 2,890,791,427
2024	Rp 529,646,091	Rp 5,742,272,690	Rp 463,657,971	Rp 2,405,912,522	Rp 2,869,570,493
2025	Rp 3,235,971,266	Rp 6,335,967,136	Rp 502,458,794	Rp 2,387,868,251	Rp 2,890,327,044
2026	Rp 688,490,003	Rp 6,455,697,281	Rp 503,482,275	Rp 2,371,984,490	Rp 2,875,466,764
2027	Rp 621,932,354	Rp 6,558,214,439	Rp 503,626,392	Rp 2,357,980,071	Rp 2,861,606,463
2028	Rp 2,833,674,576	Rp 7,000,956,645	Rp 529,961,924	Rp 2,345,615,132	Rp 2,875,577,057
2029	Rp 813,481,827	Rp 7,121,431,481	Rp 531,937,663	Rp 2,334,684,081	Rp 2,866,621,744
2030	Rp 730,298,703	Rp 7,223,948,640	Rp 532,941,394	Rp 2,325,009,950	Rp 2,857,951,343
2031	Rp 4,788,212,385	Rp 7,861,062,389	Rp 573,283,954	Rp 2,316,439,830	Rp 2,889,723,784
2032	Rp 961,383,999	Rp 7,982,314,135	Rp 575,895,777	Rp 2,308,841,152	Rp 2,884,736,929
2033	Rp 857,546,953	Rp 8,084,831,293	Rp 577,468,961	Rp 2,302,098,621	Rp 2,879,567,582
2034	Rp 4,172,606,316	Rp 8,557,648,860	Rp 605,545,246	Rp 2,296,111,695	Rp 2,901,656,941
2035	Rp 1,136,443,109	Rp 8,679,711,127	Rp 608,837,940	Rp 2,290,792,478	Rp 2,899,630,419
2036	Rp 1,006,967,113	Rp 8,782,228,286	Rp 611,019,787	Rp 2,286,063,960	Rp 2,897,083,747
2037	Rp 7,091,905,554	Rp 9,466,599,536	Rp 653,627,344	Rp 2,281,858,535	Rp 2,935,485,878
2038	Rp 1,343,702,988	Rp 9,589,507,390	Rp 657,404,974	Rp 2,278,116,743	Rp 2,935,521,717
2039	Rp 1,182,422,447	Rp 9,692,024,549	Rp 660,011,030	Rp 2,274,786,213	Rp 2,934,797,242
2040	Rp 6,151,683,815	Rp 10,197,576,092	Rp 690,111,264	Rp 2,271,820,743	Rp 2,961,932,007
2041	Rp 1,589,156,516	Rp 10,321,366,116	Rp 694,412,264	Rp 2,269,179,529	Rp 2,963,591,792
2042	Rp 1,388,449,360	Rp 10,423,883,275	Rp 697,474,695	Rp 2,266,826,485	Rp 2,964,301,180
2043	Rp 10,513,550,646	Rp 11,159,689,516	Rp 742,881,378	Rp 2,264,729,674	Rp 3,007,611,052

Tahun	Biaya O & M	(P/f,I,n)	Annual O & M Cost	Annual Acquisition Cost	EUAC
2044	Rp 1,879,926,787	Rp 11,284,399,875	Rp 747,573,480	Rp 2,262,860,796	Rp 3,010,434,276
2045	Rp 1,630,374,686	Rp 11,386,917,034	Rp 750,965,361	Rp 2,261,194,760	Rp 3,012,160,121
2046	Rp 9,079,969,306	Rp 11,928,096,186	Rp 783,330,139	Rp 2,259,709,299	Rp 3,043,039,438
2047	Rp 2,224,483,394	Rp 12,053,766,698	Rp 788,442,556	Rp 2,258,384,643	Rp 3,046,827,199
2048	Rp 1,914,453,413	Rp 12,156,283,856	Rp 792,187,293	Rp 2,257,203,226	Rp 3,049,390,519
2049	Rp 15,599,461,969	Rp 12,948,071,861	Rp 840,835,818	Rp 2,256,149,433	Rp 3,096,985,251
2050	Rp 2,632,900,754	Rp 13,074,744,065	Rp 846,274,510	Rp 2,255,209,378	Rp 3,101,483,888
2051	Rp 2,248,030,408	Rp 13,177,261,223	Rp 850,280,319	Rp 2,254,370,705	Rp 3,104,651,023
2052	Rp 13,416,933,433	Rp 13,757,217,408	Rp 885,131,686	Rp 2,253,622,416	Rp 3,138,754,102
2053	Rp 3,117,166,783	Rp 13,884,934,641	Rp 890,917,921	Rp 2,252,954,721	Rp 3,143,872,642
2054	Rp 2,639,730,317	Rp 13,987,451,799	Rp 895,200,823	Rp 2,252,358,899	Rp 3,147,559,722
2055	Rp 23,164,403,881	Rp 14,840,170,267	Rp 947,492,402	Rp 2,251,827,182	Rp 3,199,319,583
2056	Rp 2,938,085,836	Rp 14,942,687,425	Rp 951,882,480	Rp 2,251,352,646	Rp 3,203,235,126

## 2. Perhitungan Nilai EUAC Peralatan Kritis LP Boiler Feed Pump (D)

Tahun	Biaya O & M	(P/f,I,n)	Annual O & M Cost	Annual Acquisition Cost	EUAC
2001	Rp 31,884,046	Rp 29,554,616	Rp 31,370,544	Rp 1,265,727,154	Rp 1,297,097,698
2002	Rp 27,900,705	Rp 53,527,428	Rp 29,254,890	Rp 668,686,044	Rp 697,940,934
2003	Rp 99,454,770	Rp 132,737,668	Rp 49,791,108	Rp 470,521,616	Rp 520,312,725
2004	Rp 49,741,108	Rp 169,459,393	Rp 49,066,245	Rp 372,072,291	Rp 421,138,536
2005	Rp 77,502,030	Rp 222,495,618	Rp 53,027,190	Rp 313,504,492	Rp 366,531,681



Tahun	Biaya O & M	(P/f,I,n)	Annual O & M Cost	Annual Acquisition Cost	EUAC
2006	Rp 47,296,945	Rp 252,497,225	Rp 51,581,550	Rp 274,872,675	Rp 326,454,225
2007	Rp 118,740,202	Rp 322,314,213	Rp 58,034,262	Rp 247,627,918	Rp 305,662,180
2008	Rp 52,282,266	Rp 350,809,277	Rp 56,815,990	Rp 227,495,065	Rp 284,311,055
2009	Rp 60,978,799	Rp 381,616,035	Rp 56,458,953	Rp 212,098,452	Rp 268,557,405
2010	Rp 185,739,782	Rp 468,596,950	Rp 64,103,323	Rp 200,012,199	Rp 264,115,522
2011	Rp 82,803,595	Rp 504,540,432	Rp 64,445,163	Rp 190,328,527	Rp 254,773,690
2012	Rp 81,918,470	Rp 537,501,758	Rp 64,619,808	Rp 182,441,921	Rp 247,061,729
2013	Rp 127,501,562	Rp 585,056,109	Rp 66,646,251	Rp 175,932,905	Rp 242,579,156
2014	Rp 87,577,585	Rp 615,333,582	Rp 66,793,434	Rp 170,501,637	Rp 237,295,071
2015	Rp 46,320,963	Rp 630,177,760	Rp 65,498,042	Rp 165,928,060	Rp 231,426,102
2016	Rp 125,441,138	Rp 667,440,128	Rp 66,700,710	Rp 162,047,000	Rp 228,747,710
2017	Rp 21,970,521	Rp 673,626,248	Rp 64,963,109	Rp 158,732,048	Rp 223,695,157
2018	Rp 56,667,224	Rp 688,749,929	Rp 64,301,640	Rp 155,884,822	Rp 220,186,462
2019	Rp 125,979,177	Rp 720,619,180	Rp 65,313,036	Rp 153,427,609	Rp 218,740,645
2020	Rp 66,823,333	Rp 736,642,361	Rp 64,978,277	Rp 151,298,221	Rp 216,276,498
2021	Rp 174,439,270	Rp 776,289,553	Rp 66,791,280	Rp 149,446,317	Rp 216,237,597
2022	Rp 28,714,592	Rp 782,475,673	Rp 65,798,822	Rp 147,830,726	Rp 213,629,548
2023	Rp 80,550,840	Rp 798,924,439	Rp 65,778,527	Rp 146,417,469	Rp 212,195,996
2024	Rp 31,960,059	Rp 805,110,559	Rp 65,008,394	Rp 145,178,274	Rp 210,186,668
2025	Rp 196,745,531	Rp 841,206,902	Rp 66,709,911	Rp 144,089,441	Rp 210,799,352
2026	Rp 97,139,264	Rp 858,099,665	Rp 66,923,518	Rp 143,130,979	Rp 210,054,496
2027	Rp 37,528,823	Rp 864,285,785	Rp 66,371,287	Rp 142,285,920	Rp 208,657,207
2028	Rp 275,998,703	Rp 907,408,688	Rp 68,689,478	Rp 141,539,791	Rp 210,229,269

Tahun	Biaya O & M	(P/f,I,n)	Annual O & M Cost	Annual Acquisition Cost	EUAC
2029	Rp 117,192,642	Rp 924,764,656	Rp 69,075,600	Rp 140,880,186	Rp 209,955,786
2030	Rp 44,067,897	Rp 930,950,776	Rp 68,680,195	Rp 140,296,427	Rp 208,976,623
2031	Rp 291,152,202	Rp 969,691,136	Rp 70,716,697	Rp 139,779,287	Rp 210,495,984
2032	Rp 141,444,016	Rp 987,530,349	Rp 71,246,827	Rp 139,320,765	Rp 210,567,592
2033	Rp 51,746,348	Rp 993,716,469	Rp 70,977,414	Rp 138,913,905	Rp 209,891,319
2034	Rp 409,373,748	Rp 1,040,104,526	Rp 73,598,527	Rp 138,552,640	Rp 212,151,167
2035	Rp 170,783,249	Rp 1,058,447,891	Rp 74,244,779	Rp 138,231,667	Rp 212,476,445
2036	Rp 60,762,703	Rp 1,064,634,011	Rp 74,071,457	Rp 137,946,337	Rp 212,017,794
2037	Rp 431,274,196	Rp 1,106,252,115	Rp 76,381,876	Rp 137,692,572	Rp 214,074,448
2038	Rp 206,290,906	Rp 1,125,121,443	Rp 77,132,266	Rp 137,466,784	Rp 214,599,049
2039	Rp 71,350,079	Rp 1,131,307,563	Rp 77,040,196	Rp 137,265,812	Rp 214,306,008
2040	Rp 607,705,476	Rp 1,181,249,409	Rp 79,939,930	Rp 137,086,869	Rp 217,026,799
2041	Rp 249,279,495	Rp 1,200,667,455	Rp 80,779,830	Rp 136,927,492	Rp 217,707,322
2042	Rp 83,782,215	Rp 1,206,853,575	Rp 80,752,039	Rp 136,785,504	Rp 217,537,543
2043	Rp 639,412,717	Rp 1,251,603,811	Rp 83,317,118	Rp 136,658,977	Rp 219,976,095
2044	Rp 301,343,719	Rp 1,271,594,314	Rp 84,241,094	Rp 136,546,205	Rp 220,787,298
2045	Rp 98,380,544	Rp 1,277,780,435	Rp 84,269,416	Rp 136,445,672	Rp 220,715,088
2046	Rp 902,827,049	Rp 1,331,590,217	Rp 87,446,876	Rp 136,356,036	Rp 223,802,912
2047	Rp 364,421,676	Rp 1,352,177,945	Rp 88,446,596	Rp 136,276,103	Rp 224,722,700
2048	Rp 115,522,505	Rp 1,358,364,066	Rp 88,520,371	Rp 136,204,814	Rp 224,725,185
2049	Rp 948,812,402	Rp 1,406,523,308	Rp 91,338,324	Rp 136,141,226	Rp 227,479,549
2050	Rp 440,869,445	Rp 1,427,734,098	Rp 92,411,367	Rp 136,084,501	Rp 228,495,868
2051	Rp 135,651,305	Rp 1,433,920,218	Rp 92,525,611	Rp 136,033,893	Rp 228,559,504

Tahun	Biaya O & M	(P/f,I,n)	Annual O & M Cost	Annual Acquisition Cost	EUAC
2052	Rp 1,342,249,067	Rp 1,491,939,858	Rp 95,990,577	Rp 135,988,740	Rp 231,979,317
2053	Rp 533,551,983	Rp 1,513,800,666	Rp 97,132,048	Rp 135,948,450	Rp 233,080,498
2054	Rp 159,287,375	Rp 1,519,986,786	Rp 97,279,579	Rp 135,912,496	Rp 233,192,075
2055	Rp 1,409,056,374	Rp 1,571,856,387	Rp 100,357,473	Rp 135,880,411	Rp 236,237,884
2056	Rp 177,290,831	Rp 1,578,042,507	Rp 100,524,823	Rp 135,851,777	Rp 236,376,600

### 3. Perhitungan Nilai EUAC Peralatan Kritis Main Transformer

Tahun	Biaya O & M	(P/f,I,n)	Annual O & M Cost	Annual Acquisition Cost	EUAC
2001	Rp 60,005,225	Rp 55,621,279	Rp 59,038,824	Rp 17,637,655,555	Rp 17,696,694,379
2002	Rp 30,268,421	Rp 81,628,478	Rp 44,613,243	Rp 9,318,006,708	Rp 9,362,619,951
2003	Rp 51,486,549	Rp 122,634,675	Rp 46,001,384	Rp 6,556,624,919	Rp 6,602,626,303
2004	Rp 77,985,407	Rp 180,207,953	Rp 52,178,445	Rp 5,184,753,200	Rp 5,236,931,645
2005	Rp 111,059,038	Rp 256,207,925	Rp 61,061,815	Rp 4,368,622,589	Rp 4,429,684,404
2006	Rp 176,114,588	Rp 367,921,707	Rp 75,161,111	Rp 3,830,295,932	Rp 3,905,457,043
2007	Rp 76,105,639	Rp 412,670,380	Rp 74,303,335	Rp 3,450,645,671	Rp 3,524,949,006
2008	Rp 98,454,326	Rp 466,330,302	Rp 75,525,419	Rp 3,170,098,374	Rp 3,245,623,793
2009	Rp 501,328,415	Rp 719,603,631	Rp 106,463,209	Rp 2,955,549,638	Rp 3,062,012,847
2010	Rp 175,646,481	Rp 801,857,909	Rp 109,692,896	Rp 2,787,130,113	Rp 2,896,823,009
2011	Rp 185,109,963	Rp 882,210,658	Rp 112,685,140	Rp 2,652,190,081	Rp 2,764,875,222
2012	Rp 350,208,955	Rp 1,023,123,345	Rp 123,002,453	Rp 2,542,291,791	Rp 2,665,294,244
2013	Rp 376,153,587	Rp 1,163,417,624	Rp 132,529,892	Rp 2,451,589,951	Rp 2,584,119,843

Tahun	Biaya O & M	(P/f,I,n)	Annual O & M Cost	Annual Acquisition Cost	EUAC
2014	Rp 364,525,057	Rp 1,289,441,852	Rp 139,966,763	Rp 2,375,906,314	Rp 2,515,873,077
2015	Rp 544,479,221	Rp 1,463,927,565	Rp 152,154,512	Rp 2,312,174,434	Rp 2,464,328,946
2016	Rp 308,027,647	Rp 1,555,427,369	Rp 155,441,823	Rp 2,258,092,632	Rp 2,413,534,456
2017	Rp 306,154,825	Rp 1,641,629,721	Rp 158,315,343	Rp 2,211,899,447	Rp 2,370,214,790
2018	Rp 325,054,161	Rp 1,728,382,077	Rp 161,361,616	Rp 2,172,223,917	Rp 2,333,585,533
2019	Rp 402,500,142	Rp 1,830,203,491	Rp 165,879,773	Rp 2,137,983,141	Rp 2,303,862,914
2020	Rp 362,024,256	Rp 1,917,011,201	Rp 169,097,098	Rp 2,108,310,543	Rp 2,277,407,641
2021	Rp 384,899,884	Rp 2,004,492,645	Rp 172,464,810	Rp 2,082,504,629	Rp 2,254,969,439
2022	Rp 400,132,113	Rp 2,090,694,997	Rp 175,807,726	Rp 2,059,991,695	Rp 2,235,799,421
2023	Rp 425,232,114	Rp 2,177,528,897	Rp 179,284,343	Rp 2,040,298,246	Rp 2,219,582,589
2024	Rp 445,357,045	Rp 2,263,731,249	Rp 182,784,255	Rp 2,023,030,301	Rp 2,205,814,556
2025	Rp 568,996,111	Rp 2,368,123,347	Rp 187,798,386	Rp 2,007,857,635	Rp 2,195,656,020
2026	Rp 499,482,258	Rp 2,454,984,569	Rp 191,465,176	Rp 1,994,501,651	Rp 2,185,966,826
2027	Rp 522,956,669	Rp 2,541,186,921	Rp 195,145,922	Rp 1,982,725,926	Rp 2,177,871,848
2028	Rp 560,756,204	Rp 2,628,801,230	Rp 198,996,313	Rp 1,972,328,771	Rp 2,171,325,084
2029	Rp 586,705,208	Rp 2,715,690,957	Rp 202,849,428	Rp 1,963,137,311	Rp 2,165,986,739
2030	Rp 614,077,358	Rp 2,801,893,309	Rp 206,707,578	Rp 1,955,002,742	Rp 2,161,710,320
2031	Rp 796,640,665	Rp 2,907,893,352	Rp 212,064,033	Rp 1,947,796,491	Rp 2,159,860,524
2032	Rp 689,169,318	Rp 2,994,812,818	Rp 216,065,169	Rp 1,941,407,083	Rp 2,157,472,252
2033	Rp 721,075,041	Rp 3,081,015,170	Rp 220,065,276	Rp 1,935,737,573	Rp 2,155,802,849
2034	Rp 774,296,146	Rp 3,168,754,293	Rp 224,223,280	Rp 1,930,703,419	Rp 2,154,926,700
2035	Rp 809,539,979	Rp 3,255,704,783	Rp 228,371,263	Rp 1,926,230,715	Rp 2,154,601,978
2036	Rp 846,716,147	Rp 3,341,907,135	Rp 232,511,763	Rp 1,922,254,704	Rp 2,154,766,467

<b>Tahun</b>	<b>Biaya O &amp; M</b>	<b>(P/f,I,n)</b>	<b>Annual O &amp; M Cost</b>	<b>Annual Acquisition Cost</b>	<b>EUAC</b>
2037	Rp 1,116,577,783	Rp 3,449,657,263	Rp 238,183,764	Rp 1,918,718,538	Rp 2,156,902,303
2038	Rp 950,949,194	Rp 3,536,640,121	Rp 242,452,997	Rp 1,915,572,224	Rp 2,158,025,221
2039	Rp 994,249,133	Rp 3,622,842,472	Rp 246,709,651	Rp 1,912,771,722	Rp 2,159,481,372
2040	Rp 1,069,285,708	Rp 3,710,717,444	Rp 251,119,274	Rp 1,910,278,184	Rp 2,161,397,458
2041	Rp 1,117,077,377	Rp 3,797,734,068	Rp 255,508,145	Rp 1,908,057,298	Rp 2,163,565,443
2042	Rp 1,167,488,469	Rp 3,883,936,420	Rp 259,878,905	Rp 1,906,078,723	Rp 2,165,957,628
2043	Rp 1,566,801,788	Rp 3,993,591,338	Rp 265,846,521	Rp 1,904,315,603	Rp 2,170,162,124
2044	Rp 1,312,249,516	Rp 4,080,643,191	Rp 270,336,098	Rp 1,902,744,142	Rp 2,173,080,240
2045	Rp 1,370,913,265	Rp 4,166,845,543	Rp 274,802,799	Rp 1,901,343,242	Rp 2,176,146,041
2046	Rp 1,476,857,668	Rp 4,254,868,371	Rp 279,421,509	Rp 1,900,094,181	Rp 2,179,515,690
2047	Rp 1,541,548,224	Rp 4,341,956,976	Rp 284,009,451	Rp 1,898,980,333	Rp 2,182,989,784
2048	Rp 1,609,783,078	Rp 4,428,159,328	Rp 288,569,401	Rp 1,897,986,930	Rp 2,186,556,331
2049	Rp 2,201,218,069	Rp 4,539,887,416	Rp 294,816,092	Rp 1,897,100,840	Rp 2,191,916,932
2050	Rp 1,810,946,657	Rp 4,627,014,363	Rp 299,487,645	Rp 1,896,310,387	Rp 2,195,798,033
2051	Rp 1,890,273,894	Rp 4,713,216,715	Rp 304,126,582	Rp 1,895,605,182	Rp 2,199,731,764
2052	Rp 2,040,077,527	Rp 4,801,400,471	Rp 308,919,425	Rp 1,894,975,978	Rp 2,203,895,403
2053	Rp 2,127,464,790	Rp 4,888,567,419	Rp 313,671,791	Rp 1,894,414,542	Rp 2,208,086,333
2054	Rp 2,219,637,817	Rp 4,974,769,771	Rp 318,386,655	Rp 1,893,913,540	Rp 2,212,300,195
2055	Rp 3,096,430,572	Rp 5,088,754,294	Rp 324,898,969	Rp 1,893,466,441	Rp 2,218,365,411
2056	Rp 2,470,512,381	Rp 5,174,956,646	Rp 329,656,268	Rp 1,893,067,424	Rp 2,222,723,692

4. Perhitungan Nilai EUAC Peralatan Kritis LP Boiler Feed Pump (B)

Tahun	Biaya O & M	$(P/F, i, n)$	Annual O & M Cost	Annual Acquisition Cost	EUAC
2001	Rp 37,588,729	Rp 34,842,519	Rp 36,983,351	Rp 1,265,727,154	Rp 1,302,710,506
2002	Rp 13,465,705	Rp 46,412,506	Rp 25,366,299	Rp 668,686,044	Rp 694,052,343
2003	Rp 44,278,138	Rp 81,677,601	Rp 30,638,012	Rp 470,521,616	Rp 501,159,629
2004	Rp 18,387,477	Rp 95,252,287	Rp 27,579,894	Rp 372,072,291	Rp 399,652,185
2005	Rp 47,424,884	Rp 127,706,105	Rp 30,436,086	Rp 313,504,492	Rp 343,940,578
2006	Rp 20,960,795	Rp 141,002,049	Rp 28,804,690	Rp 274,872,675	Rp 303,677,365
2007	Rp 58,668,831	Rp 175,498,209	Rp 31,599,317	Rp 247,627,918	Rp 279,227,235
2008	Rp 23,966,017	Rp 188,560,252	Rp 30,538,638	Rp 227,495,065	Rp 258,033,702
2009	Rp 60,978,799	Rp 219,367,010	Rp 32,454,694	Rp 212,098,452	Rp 244,553,146
2010	Rp 34,878,581	Rp 235,700,457	Rp 32,243,451	Rp 200,012,199	Rp 232,255,649
2011	Rp 82,803,595	Rp 271,643,938	Rp 34,697,195	Rp 190,328,527	Rp 225,025,722
2012	Rp 16,848,639	Rp 278,423,282	Rp 33,472,745	Rp 182,441,921	Rp 215,914,665
2013	Rp 73,962,875	Rp 306,009,270	Rp 34,858,829	Rp 175,932,905	Rp 210,791,733
2014	Rp 93,954,123	Rp 338,491,251	Rp 36,742,661	Rp 170,501,637	Rp 207,244,297
2015	Rp 46,320,963	Rp 353,335,428	Rp 36,724,207	Rp 165,928,060	Rp 202,652,267
2016	Rp 118,925,138	Rp 388,662,214	Rp 38,841,006	Rp 162,047,000	Rp 200,888,005
2017	Rp 21,970,521	Rp 394,848,335	Rp 38,078,349	Rp 158,732,048	Rp 196,810,397
2018	Rp 56,667,224	Rp 409,972,015	Rp 38,274,955	Rp 155,884,822	Rp 194,159,777
2019	Rp 125,979,177	Rp 441,841,266	Rp 40,046,109	Rp 153,427,609	Rp 193,473,718

<b>Tahun</b>	<b>Biaya O &amp; M</b>	<b>(P/f,I,n)</b>	<b>Annual O &amp; M Cost</b>	<b>Annual Acquisition Cost</b>	<b>EUAC</b>
2020	Rp 66,823,333	Rp 457,864,448	Rp 40,387,635	Rp 151,298,221	Rp 191,685,856
2021	Rp 174,439,270	Rp 497,511,639	Rp 42,805,470	Rp 149,446,317	Rp 192,251,787
2022	Rp 28,714,592	Rp 503,697,759	Rp 42,356,230	Rp 147,830,726	Rp 190,186,956
2023	Rp 80,550,840	Rp 520,146,525	Rp 42,825,667	Rp 146,417,469	Rp 189,243,137
2024	Rp 31,960,059	Rp 526,332,646	Rp 42,498,561	Rp 145,178,274	Rp 187,676,835
2025	Rp 196,745,531	Rp 562,428,989	Rp 44,602,092	Rp 144,089,441	Rp 188,691,533
2026	Rp 97,139,264	Rp 579,321,751	Rp 45,181,523	Rp 143,130,979	Rp 188,312,501
2027	Rp 37,528,823	Rp 585,507,871	Rp 44,963,034	Rp 142,285,920	Rp 187,248,954
2028	Rp 275,998,703	Rp 628,630,775	Rp 47,586,407	Rp 141,539,791	Rp 189,126,198
2029	Rp 117,192,642	Rp 645,986,742	Rp 48,252,192	Rp 140,880,186	Rp 189,132,378
2030	Rp 44,067,897	Rp 652,172,863	Rp 48,113,564	Rp 140,296,427	Rp 188,409,991
2031	Rp 291,152,202	Rp 690,913,222	Rp 50,386,251	Rp 139,779,287	Rp 190,165,538
2032	Rp 141,444,016	Rp 708,752,435	Rp 51,133,985	Rp 139,320,765	Rp 190,454,750
2033	Rp 51,746,348	Rp 714,938,556	Rp 51,065,361	Rp 138,913,905	Rp 189,979,266
2034	Rp 409,373,748	Rp 761,326,613	Rp 53,872,006	Rp 138,552,640	Rp 192,424,646
2035	Rp 170,783,249	Rp 779,669,978	Rp 54,689,915	Rp 138,231,667	Rp 192,921,581
2036	Rp 60,762,703	Rp 785,856,098	Rp 54,675,603	Rp 137,946,337	Rp 192,621,940
2037	Rp 431,274,196	Rp 827,474,201	Rp 57,133,479	Rp 137,692,572	Rp 194,826,051
2038	Rp 206,290,906	Rp 846,343,529	Rp 58,020,754	Rp 137,466,784	Rp 195,487,537
2039	Rp 71,350,079	Rp 852,529,650	Rp 58,055,876	Rp 137,265,812	Rp 195,321,687

<b>Tahun</b>	<b>Biaya O &amp; M</b>	<b>(P/f,I,n)</b>	<b>Annual O &amp; M Cost</b>	<b>Annual Acquisition Cost</b>	<b>EUAC</b>
2040	Rp 607,705,476	Rp 902,471,495	Rp 61,073,900	Rp 137,086,869	Rp 198,160,769
2041	Rp 249,279,495	Rp 921,889,541	Rp 62,023,902	Rp 136,927,492	Rp 198,951,394
2042	Rp 83,782,215	Rp 928,075,661	Rp 62,098,670	Rp 136,785,504	Rp 198,884,174
2043	Rp 639,412,717	Rp 972,825,897	Rp 64,759,350	Rp 136,658,977	Rp 201,418,328
2044	Rp 301,343,719	Rp 992,816,401	Rp 65,772,502	Rp 136,546,205	Rp 202,318,707
2045	Rp 98,380,544	Rp 999,002,521	Rp 65,884,057	Rp 136,445,672	Rp 202,329,729
2046	Rp 902,827,049	Rp 1,052,812,304	Rp 69,139,249	Rp 136,356,036	Rp 205,495,285
2047	Rp 364,421,676	Rp 1,073,400,032	Rp 70,211,602	Rp 136,276,103	Rp 206,487,705
2048	Rp 115,522,505	Rp 1,079,586,152	Rp 70,353,279	Rp 136,204,814	Rp 206,558,093
2049	Rp 948,812,402	Rp 1,127,745,395	Rp 73,234,743	Rp 136,141,226	Rp 209,375,969
2050	Rp 440,869,445	Rp 1,148,956,185	Rp 74,367,217	Rp 136,084,501	Rp 210,451,718
2051	Rp 135,651,305	Rp 1,155,142,305	Rp 74,537,095	Rp 136,033,893	Rp 210,570,988
2052	Rp 1,342,249,067	Rp 1,213,161,945	Rp 78,054,162	Rp 135,988,740	Rp 214,042,902
2053	Rp 533,551,983	Rp 1,235,022,752	Rp 79,244,442	Rp 135,948,450	Rp 215,192,892
2054	Rp 159,287,375	Rp 1,241,208,872	Rp 79,437,715	Rp 135,912,496	Rp 215,350,211
2055	Rp 1,409,056,374	Rp 1,293,078,474	Rp 82,558,489	Rp 135,880,411	Rp 218,438,900
2056	Rp 177,290,831	Rp 1,299,264,594	Rp 82,766,049	Rp 135,851,777	Rp 218,617,826



5. Perhitungan Nilai EUAC Peralatan Kritis LP Boiler Feed Pump (C)

Tahun	Biaya O & M	(P/f,I,n)	Annual O & M Cost	Annual Acquisition Cost	EUAC
2001	Rp 118,417,366	Rp 109,765,864	Rp 116,510,220	Rp 1,637,624,191	Rp 1,754,134,411
2002	Rp 34,389,878	Rp 139,314,296	Rp 76,140,860	Rp 865,159,950	Rp 941,300,810
2003	Rp 154,504,261	Rp 262,368,420	Rp 98,416,784	Rp 608,770,681	Rp 707,187,465
2004	Rp 33,627,515	Rp 287,194,171	Rp 83,155,848	Rp 481,394,891	Rp 564,550,738
2005	Rp 156,317,362	Rp 394,165,339	Rp 93,941,087	Rp 405,618,650	Rp 499,559,737
2006	Rp 56,267,369	Rp 429,857,105	Rp 87,813,622	Rp 355,636,000	Rp 443,449,622
2007	Rp 210,444,521	Rp 553,594,495	Rp 99,677,416	Rp 320,386,165	Rp 420,063,581
2008	Rp 43,902,575	Rp 577,522,430	Rp 93,533,754	Rp 294,337,860	Rp 387,871,614
2009	Rp 214,903,969	Rp 686,092,864	Rp 101,505,391	Rp 274,417,400	Rp 375,922,791
2010	Rp 55,943,787	Rp 712,291,031	Rp 97,440,289	Rp 258,779,954	Rp 356,220,243
2011	Rp 274,168,692	Rp 831,302,497	Rp 106,182,619	Rp 246,251,018	Rp 352,433,637
2012	Rp 18,391,843	Rp 838,702,776	Rp 100,830,950	Rp 236,047,162	Rp 336,878,112
2013	Rp 66,561,108	Rp 863,528,121	Rp 98,368,193	Rp 227,625,661	Rp 325,993,854
2014	Rp 373,367,770	Rp 992,609,467	Rp 107,746,102	Rp 220,598,574	Rp 328,344,676
2015	Rp 80,937,327	Rp 1,018,546,925	Rp 105,863,510	Rp 214,681,185	Rp 320,544,694
2016	Rp 389,343,998	Rp 1,134,201,802	Rp 113,346,595	Rp 209,659,788	Rp 323,006,383
2017	Rp 28,425,918	Rp 1,142,205,533	Rp 110,151,917	Rp 205,370,835	Rp 315,522,752
2018	Rp 98,683,343	Rp 1,168,542,721	Rp 109,095,057	Rp 201,687,034	Rp 310,782,091
2019	Rp 413,852,173	Rp 1,273,235,886	Rp 115,399,234	Rp 198,507,840	Rp 313,907,074
2020	Rp 117,531,993	Rp 1,301,418,205	Rp 114,796,430	Rp 195,752,794	Rp 310,549,223
2021	Rp 577,278,531	Rp 1,432,624,168	Rp 123,261,742	Rp 193,356,761	Rp 316,618,503

Tahun	Biaya O & M	(P/f,I,n)	Annual O & M Cost	Annual Acquisition Cost	EUAC
2022	Rp 37,151,538	Rp 1,440,627,900	Rp 121,143,216	Rp 191,266,477	Rp 312,409,692
2023	Rp 142,286,043	Rp 1,469,683,212	Rp 121,004,680	Rp 189,437,976	Rp 310,442,656
2024	Rp 41,350,590	Rp 1,477,686,943	Rp 119,315,359	Rp 187,834,678	Rp 307,150,038
2025	Rp 657,376,096	Rp 1,598,293,866	Rp 126,748,891	Rp 186,425,924	Rp 313,174,815
2026	Rp 172,315,358	Rp 1,628,259,941	Rp 126,988,609	Rp 185,185,845	Rp 312,174,454
2027	Rp 48,555,574	Rp 1,636,263,672	Rp 125,653,953	Rp 184,092,491	Rp 309,746,444
2028	Rp 921,662,145	Rp 1,780,267,057	Rp 134,763,548	Rp 183,127,134	Rp 317,890,682
2029	Rp 208,755,617	Rp 1,811,183,297	Rp 135,286,931	Rp 182,273,723	Rp 317,560,654
2030	Rp 57,015,964	Rp 1,819,187,028	Rp 134,209,159	Rp 181,518,444	Rp 315,727,602
2031	Rp 981,226,932	Rp 1,949,747,897	Rp 142,189,329	Rp 180,849,356	Rp 323,038,685
2032	Rp 252,989,106	Rp 1,981,655,408	Rp 142,969,440	Rp 180,256,111	Rp 323,225,551
2033	Rp 66,950,504	Rp 1,989,659,139	Rp 142,113,837	Rp 179,729,708	Rp 321,843,545
2034	Rp 1,376,922,527	Rp 2,145,684,681	Rp 151,830,156	Rp 179,262,296	Rp 331,092,451
2035	Rp 306,698,653	Rp 2,178,626,350	Rp 152,819,646	Rp 178,847,013	Rp 331,666,659
2036	Rp 78,616,052	Rp 2,186,630,081	Rp 152,133,855	Rp 178,477,848	Rp 330,611,703
2037	Rp 1,465,225,278	Rp 2,328,024,809	Rp 160,739,943	Rp 178,149,521	Rp 338,889,465
2038	Rp 371,933,423	Rp 2,362,045,377	Rp 161,929,108	Rp 177,857,392	Rp 339,786,500
2039	Rp 92,314,221	Rp 2,370,049,109	Rp 161,396,470	Rp 177,597,370	Rp 338,993,840
2040	Rp 2,057,780,173	Rp 2,539,159,546	Rp 171,835,207	Rp 177,365,850	Rp 349,201,057
2041	Rp 451,189,211	Rp 2,574,305,690	Rp 173,196,980	Rp 177,159,645	Rp 350,356,625
2042	Rp 108,399,178	Rp 2,582,309,421	Rp 172,785,461	Rp 176,975,937	Rp 349,761,398
2043	Rp 2,188,798,702	Rp 2,735,495,704	Rp 182,097,254	Rp 176,812,235	Rp 358,909,489
2044	Rp 547,506,418	Rp 2,771,816,120	Rp 183,628,394	Rp 176,666,328	Rp 360,294,721

Tahun	Biaya O & M	(P/f,I,n)	Annual O & M Cost	Annual Acquisition Cost	EUAC
2045	Rp 127,286,800	Rp 2,779,819,851	Rp 183,328,676	Rp 176,536,257	Rp 359,864,932
2046	Rp 3,076,302,351	Rp 2,963,171,869	Rp 194,594,493	Rp 176,420,284	Rp 371,014,777
2047	Rp 664,589,638	Rp 3,000,717,360	Rp 196,278,336	Rp 176,316,865	Rp 372,595,201
2048	Rp 149,465,426	Rp 3,008,721,091	Rp 196,069,016	Rp 176,224,629	Rp 372,293,645
2049	Rp 3,270,857,448	Rp 3,174,741,285	Rp 206,164,764	Rp 176,142,357	Rp 382,307,122
2050	Rp 806,953,645	Rp 3,213,564,851	Rp 208,000,861	Rp 176,068,965	Rp 384,069,826
2051	Rp 175,508,488	Rp 3,221,568,582	Rp 207,876,001	Rp 176,003,488	Rp 383,879,489
2052	Rp 4,600,332,328	Rp 3,420,421,114	Rp 220,067,984	Rp 175,945,068	Rp 396,013,052
2053	Rp 980,101,619	Rp 3,460,578,050	Rp 222,045,770	Rp 175,892,939	Rp 397,938,709
2054	Rp 206,089,328	Rp 3,468,581,781	Rp 221,990,203	Rp 175,846,422	Rp 397,836,626
2055	Rp 4,889,455,087	Rp 3,648,570,383	Rp 232,948,319	Rp 175,804,910	Rp 408,753,229
2056	Rp 229,382,574	Rp 3,656,574,114	Rp 232,931,918	Rp 175,767,862	Rp 408,699,780

6. Perhitungan Nilai EUAC Peralatan Kritis Sea Water Booster Pump (B)

Tahun	Biaya O & M	(P/f,I,n)	Annual O & M Cost	Annual Acquisition Cost	EUAC
2001	Rp 4,444,095	Rp 4,119,412	Rp 4,372,522	Rp 1,289,489,702	Rp 1,293,862,224
2002	Rp 37,747,952	Rp 36,553,165	Rp 19,977,773	Rp 681,239,843	Rp 701,217,616
2003	Rp 116,922,445	Rp 129,675,444	Rp 48,642,440	Rp 479,355,110	Rp 527,997,550
2004	Rp 10,932,658	Rp 137,746,557	Rp 39,883,928	Rp 379,057,514	Rp 418,941,442
2005	Rp 6,582,726	Rp 142,251,251	Rp 33,902,619	Rp 319,390,172	Rp 353,292,791

Tahun	Biaya O & M	(P/f,I,n)	Annual O & M Cost	Annual Acquisition Cost	EUAC
2006	Rp 9,676,304	Rp 148,389,166	Rp 30,313,772	Rp 280,033,089	Rp 310,346,860
2007	Rp 155,102,511	Rp 239,586,504	Rp 43,138,730	Rp 252,276,843	Rp 295,415,573
2008	Rp 12,845,802	Rp 246,587,767	Rp 39,936,595	Rp 231,766,019	Rp 271,702,614
2009	Rp 9,824,532	Rp 251,551,164	Rp 37,216,244	Rp 216,080,352	Rp 253,296,596
2010	Rp 17,118,641	Rp 259,567,730	Rp 35,508,456	Rp 203,767,194	Rp 239,275,650
2011	Rp 256,946,302	Rp 371,103,281	Rp 47,401,179	Rp 193,901,723	Rp 241,302,902
2012	Rp 14,482,012	Rp 376,930,371	Rp 45,315,514	Rp 185,867,054	Rp 231,182,568
2013	Rp 19,417,946	Rp 384,172,697	Rp 43,762,760	Rp 179,235,839	Rp 222,998,599
2014	Rp 15,869,598	Rp 389,659,161	Rp 42,296,852	Rp 173,702,606	Rp 215,999,458
2015	Rp 28,121,047	Rp 398,670,930	Rp 41,436,190	Rp 169,043,165	Rp 210,479,355
2016	Rp 294,216,106	Rp 486,068,007	Rp 48,575,265	Rp 165,089,243	Rp 213,664,508
2017	Rp 22,937,914	Rp 492,526,511	Rp 47,498,228	Rp 161,712,057	Rp 209,210,285
2018	Rp 39,857,218	Rp 503,163,839	Rp 46,975,337	Rp 158,811,377	Rp 205,786,714
2019	Rp 27,171,602	Rp 510,037,503	Rp 46,227,048	Rp 156,308,033	Rp 202,535,081
2020	Rp 36,048,777	Rp 518,681,432	Rp 45,752,223	Rp 154,138,668	Rp 199,890,892
2021	Rp 437,427,988	Rp 618,101,655	Rp 53,180,931	Rp 152,251,997	Rp 205,432,927
2022	Rp 29,253,675	Rp 624,403,913	Rp 52,506,479	Rp 150,606,075	Rp 203,112,554
2023	Rp 42,592,218	Rp 633,101,394	Rp 52,125,677	Rp 149,166,286	Rp 201,291,963
2024	Rp 32,560,071	Rp 639,403,652	Rp 51,628,443	Rp 147,903,826	Rp 199,532,269
2025	Rp 35,236,093	Rp 645,868,317	Rp 51,219,050	Rp 146,794,552	Rp 198,013,602
2026	Rp 50,609,427	Rp 654,669,424	Rp 51,057,916	Rp 145,818,095	Rp 196,876,012
2027	Rp 38,233,383	Rp 660,971,682	Rp 50,758,143	Rp 144,957,172	Rp 195,715,314
2028	Rp 698,223,904	Rp 770,064,375	Rp 58,292,719	Rp 144,197,035	Rp 202,489,754

<b>Tahun</b>	<b>Biaya O &amp; M</b>	<b>(P/f,I,n)</b>	<b>Annual O &amp; M Cost</b>	<b>Annual Acquisition Cost</b>	<b>EUAC</b>
2029	Rp 60,157,665	Rp 778,973,590	Rp 58,185,688	Rp 143,525,047	Rp 201,710,735
2030	Rp 44,895,220	Rp 785,275,848	Rp 57,933,137	Rp 142,930,329	Rp 200,863,465
2031	Rp 48,692,931	Rp 791,754,870	Rp 57,740,333	Rp 142,403,479	Rp 200,143,813
2032	Rp 71,533,878	Rp 800,776,871	Rp 57,773,224	Rp 141,936,349	Rp 199,709,573
2033	Rp 52,717,825	Rp 807,079,129	Rp 57,646,614	Rp 141,521,851	Rp 199,168,465
2034	Rp 1,042,929,322	Rp 925,258,335	Rp 65,471,930	Rp 141,153,804	Rp 206,625,734
2035	Rp 85,093,544	Rp 934,398,002	Rp 65,543,305	Rp 140,826,804	Rp 206,370,110
2036	Rp 61,903,451	Rp 940,700,259	Rp 65,448,819	Rp 140,536,118	Rp 205,984,937
2037	Rp 67,301,822	Rp 947,194,908	Rp 65,399,671	Rp 140,277,589	Rp 205,677,260
2038	Rp 101,262,402	Rp 956,457,330	Rp 65,569,563	Rp 140,047,562	Rp 205,617,125
2039	Rp 72,689,594	Rp 962,759,587	Rp 65,562,354	Rp 139,842,817	Rp 205,405,171
2040	Rp 1,558,376,632	Rp 1,090,828,541	Rp 73,820,784	Rp 139,660,514	Rp 213,481,298
2041	Rp 120,550,560	Rp 1,100,219,030	Rp 74,021,750	Rp 139,498,145	Rp 213,519,896
2042	Rp 85,355,129	Rp 1,106,521,288	Rp 74,038,684	Rp 139,353,492	Rp 213,392,175
2043	Rp 93,041,638	Rp 1,113,032,943	Rp 74,092,693	Rp 139,224,590	Rp 213,317,282
2044	Rp 143,569,497	Rp 1,122,557,039	Rp 74,367,612	Rp 139,109,700	Rp 213,477,312
2045	Rp 100,227,524	Rp 1,128,859,296	Rp 74,448,090	Rp 139,007,280	Rp 213,455,371
2046	Rp 2,329,355,858	Rp 1,267,692,236	Rp 83,250,631	Rp 138,915,961	Rp 222,166,593
2047	Rp 171,052,531	Rp 1,277,355,720	Rp 83,552,439	Rp 138,834,528	Rp 222,386,967
2048	Rp 117,691,305	Rp 1,283,657,977	Rp 83,652,007	Rp 138,761,900	Rp 222,413,907
2049	Rp 128,654,478	Rp 1,290,188,143	Rp 83,783,625	Rp 138,697,118	Rp 222,480,744
2050	Rp 203,879,493	Rp 1,299,997,044	Rp 84,143,472	Rp 138,639,328	Rp 222,782,800
2051	Rp 138,198,000	Rp 1,306,299,302	Rp 84,290,701	Rp 138,587,771	Rp 222,878,472

<b>Tahun</b>	<b>Biaya O &amp; M</b>	<b>(P/f,I,n)</b>	<b>Annual O &amp; M Cost</b>	<b>Annual Acquisition Cost</b>	<b>EUAC</b>
2052	Rp 3,482,846,643	Rp 1,456,847,746	Rp 93,732,770	Rp 138,541,769	Rp 232,274,540
2053	Rp 243,106,470	Rp 1,466,808,357	Rp 94,116,817	Rp 138,500,723	Rp 232,617,540
2054	Rp 162,277,809	Rp 1,473,110,614	Rp 94,279,491	Rp 138,464,095	Rp 232,743,585
2055	Rp 177,941,595	Rp 1,479,660,927	Rp 94,471,119	Rp 138,431,407	Rp 232,902,526
2056	Rp 180,619,259	Rp 1,485,963,184	Rp 94,659,165	Rp 138,402,235	Rp 233,061,400

7. Perhitungan Nilai EUAC Peralatan Kritis HP Boiler Feed Pump (A)

<b>Tahun</b>	<b>Biaya O &amp; M</b>	<b>(P/f,I,n)</b>	<b>Annual O &amp; M Cost</b>	<b>Annual Acquisition Cost</b>	<b>EUAC</b>
2001	Rp 127,273,330	Rp 117,974,816	Rp 125,223,556	Rp 1,637,624,191	Rp 1,762,847,747
2002	Rp 28,846,538	Rp 142,760,306	Rp 78,024,243	Rp 865,159,950	Rp 943,184,193
2003	Rp 154,504,261	Rp 265,814,430	Rp 99,709,414	Rp 608,770,681	Rp 708,480,095
2004	Rp 36,260,463	Rp 292,583,974	Rp 84,716,442	Rp 481,394,891	Rp 566,111,333
2005	Rp 156,317,362	Rp 399,555,142	Rp 95,225,634	Rp 405,618,650	Rp 500,844,284
2006	Rp 68,982,369	Rp 443,312,342	Rp 90,562,333	Rp 355,636,000	Rp 446,198,334
2007	Rp 203,337,673	Rp 562,871,041	Rp 101,347,703	Rp 320,386,165	Rp 421,733,868
2008	Rp 43,902,575	Rp 586,798,976	Rp 95,036,155	Rp 294,337,860	Rp 389,374,014
2009	Rp 206,418,969	Rp 691,082,750	Rp 102,243,630	Rp 274,417,400	Rp 376,661,030
2010	Rp 55,943,787	Rp 717,280,917	Rp 98,122,897	Rp 258,779,954	Rp 356,902,852
2011	Rp 274,168,692	Rp 836,292,383	Rp 106,819,980	Rp 246,251,018	Rp 353,070,998

<b>Tahun</b>	<b>Biaya O &amp; M</b>	<b>(P/f,I,n)</b>	<b>Annual O &amp; M Cost</b>	<b>Annual Acquisition Cost</b>	<b>EUAC</b>
2012	Rp 18,391,843	Rp 843,692,662	Rp 101,430,846	Rp 236,047,162	Rp 337,478,008
2013	Rp 66,561,108	Rp 868,518,007	Rp 98,936,612	Rp 227,625,661	Rp 326,562,273
2014	Rp 292,167,770	Rp 969,526,749	Rp 105,240,512	Rp 220,598,574	Rp 325,839,085
2015	Rp 80,637,327	Rp 995,368,069	Rp 103,454,396	Rp 214,681,185	Rp 318,135,581
2016	Rp 388,143,998	Rp 1,110,666,485	Rp 110,994,590	Rp 209,659,788	Rp 320,654,378
2017	Rp 28,425,918	Rp 1,118,670,216	Rp 107,882,220	Rp 205,370,835	Rp 313,253,055
2018	Rp 98,683,343	Rp 1,145,007,404	Rp 106,897,802	Rp 201,687,034	Rp 308,584,836
2019	Rp 413,852,173	Rp 1,249,700,569	Rp 113,266,119	Rp 198,507,840	Rp 311,773,960
2020	Rp 117,531,993	Rp 1,277,882,888	Rp 112,720,410	Rp 195,752,794	Rp 308,473,203
2021	Rp 577,278,531	Rp 1,409,088,851	Rp 121,236,784	Rp 193,356,761	Rp 314,593,545
2022	Rp 37,151,538	Rp 1,417,092,583	Rp 119,164,118	Rp 191,266,477	Rp 310,430,594
2023	Rp 142,286,043	Rp 1,446,147,895	Rp 119,066,927	Rp 189,437,976	Rp 308,504,903
2024	Rp 41,350,590	Rp 1,454,151,626	Rp 117,415,008	Rp 187,834,678	Rp 305,249,686
2025	Rp 657,376,096	Rp 1,574,758,549	Rp 124,882,479	Rp 186,425,924	Rp 311,308,403
2026	Rp 172,315,358	Rp 1,604,724,624	Rp 125,153,081	Rp 185,185,845	Rp 310,338,926
2027	Rp 48,555,574	Rp 1,612,728,355	Rp 123,846,600	Rp 184,092,491	Rp 307,939,091
2028	Rp 921,662,145	Rp 1,756,731,740	Rp 132,981,960	Rp 183,127,134	Rp 316,109,093
2029	Rp 208,755,617	Rp 1,787,647,980	Rp 133,528,953	Rp 182,273,723	Rp 315,802,676
2030	Rp 57,015,964	Rp 1,795,651,711	Rp 132,472,858	Rp 181,518,444	Rp 313,991,302
2031	Rp 981,226,932	Rp 1,926,212,580	Rp 140,472,968	Rp 180,849,356	Rp 321,322,324
2032	Rp 252,989,106	Rp 1,958,120,091	Rp 141,271,450	Rp 180,256,111	Rp 321,527,561
2033	Rp 66,950,504	Rp 1,966,123,822	Rp 140,432,798	Rp 179,729,708	Rp 320,162,506
2034	Rp 1,376,922,527	Rp 2,122,149,364	Rp 150,164,780	Rp 179,262,296	Rp 329,427,076

<b>Tahun</b>	<b>Biaya O &amp; M</b>	<b>(P/f,I,n)</b>	<b>Annual O &amp; M Cost</b>	<b>Annual Acquisition Cost</b>	<b>EUAC</b>
2035	Rp 306,698,653	Rp 2,155,091,033	Rp 151,168,762	Rp 178,847,013	Rp 330,015,775
2036	Rp 78,616,052	Rp 2,163,094,764	Rp 150,496,396	Rp 178,477,848	Rp 328,974,243
2037	Rp 1,465,225,278	Rp 2,304,489,492	Rp 159,114,932	Rp 178,149,521	Rp 337,264,454
2038	Rp 371,933,423	Rp 2,338,510,060	Rp 160,315,654	Rp 177,857,392	Rp 338,173,045
2039	Rp 92,314,221	Rp 2,346,513,791	Rp 159,793,754	Rp 177,597,370	Rp 337,391,124
2040	Rp 2,057,780,173	Rp 2,515,624,229	Rp 170,242,477	Rp 177,365,850	Rp 347,608,327
2041	Rp 451,189,211	Rp 2,550,770,373	Rp 171,613,545	Rp 177,159,645	Rp 348,773,190
2042	Rp 108,399,178	Rp 2,558,774,104	Rp 171,210,684	Rp 176,975,937	Rp 348,186,622
2043	Rp 2,188,798,702	Rp 2,711,960,387	Rp 180,530,548	Rp 176,812,235	Rp 357,342,783
2044	Rp 547,506,418	Rp 2,748,280,803	Rp 182,069,216	Rp 176,666,328	Rp 358,735,544
2045	Rp 127,286,800	Rp 2,756,284,534	Rp 181,776,525	Rp 176,536,257	Rp 358,312,782
2046	Rp 3,076,302,351	Rp 2,939,636,552	Rp 193,048,905	Rp 176,420,284	Rp 369,469,189
2047	Rp 664,589,638	Rp 2,977,182,043	Rp 194,738,880	Rp 176,316,865	Rp 371,055,744
2048	Rp 149,465,426	Rp 2,985,185,774	Rp 194,535,293	Rp 176,224,629	Rp 370,759,922
2049	Rp 3,270,857,448	Rp 3,151,205,968	Rp 204,636,403	Rp 176,142,357	Rp 380,778,760
2050	Rp 806,953,645	Rp 3,190,029,534	Rp 206,477,516	Rp 176,068,965	Rp 382,546,482
2051	Rp 175,508,488	Rp 3,198,033,265	Rp 206,357,353	Rp 176,003,488	Rp 382,360,841
2052	Rp 4,600,332,328	Rp 3,396,885,797	Rp 218,553,735	Rp 175,945,068	Rp 394,498,803
2053	Rp 980,101,619	Rp 3,437,042,733	Rp 220,535,641	Rp 175,892,939	Rp 396,428,581
2054	Rp 206,089,328	Rp 3,445,046,464	Rp 220,483,936	Rp 175,846,422	Rp 396,330,359
2055	Rp 4,889,455,087	Rp 3,625,035,065	Rp 231,445,672	Rp 175,804,910	Rp 407,250,582
2056	Rp 229,382,574	Rp 3,633,038,797	Rp 231,432,665	Rp 175,767,862	Rp 407,200,527



8. Perhitungan Nilai EUAC Peralatan Kritis Sea Water Booster Pump (A)

Tahun	Biaya O & M	(P/f,I,n)	Annual O & M Cost	Annual Acquisition Cost	EUAC
2001	Rp 4,545,612	Rp 4,213,512	Rp 4,472,404	Rp 1,289,489,702	Rp 1,293,962,106
2002	Rp 116,906,657	Rp 104,661,919	Rp 57,201,944	Rp 681,239,843	Rp 738,441,786
2003	Rp 6,687,871	Rp 109,988,439	Rp 41,257,665	Rp 479,355,110	Rp 520,612,775
2004	Rp 179,346,035	Rp 242,391,918	Rp 70,183,547	Rp 379,057,514	Rp 449,241,060
2005	Rp 12,261,705	Rp 250,782,853	Rp 59,768,862	Rp 319,390,172	Rp 379,159,034
2006	Rp 274,926,140	Rp 425,175,215	Rp 86,857,179	Rp 280,033,089	Rp 366,890,268
2007	Rp 13,099,816	Rp 432,877,658	Rp 77,941,755	Rp 252,276,843	Rp 330,218,597
2008	Rp 581,952,076	Rp 750,055,219	Rp 121,476,633	Rp 231,766,019	Rp 353,242,652
2009	Rp 14,122,604	Rp 757,190,021	Rp 112,024,003	Rp 216,080,352	Rp 328,104,355
2010	Rp 670,749,235	Rp 1,071,298,187	Rp 146,551,901	Rp 203,767,194	Rp 350,319,095
2011	Rp 18,342,781	Rp 1,079,260,443	Rp 137,854,393	Rp 193,901,723	Rp 331,756,115
2012	Rp 222,752,405	Rp 1,168,888,762	Rp 140,526,736	Rp 185,867,054	Rp 326,393,791
2013	Rp 13,845,301	Rp 1,174,052,654	Rp 133,741,374	Rp 179,235,839	Rp 312,977,214
2014	Rp 878,215,654	Rp 1,477,670,876	Rp 160,398,709	Rp 173,702,606	Rp 334,101,315
2015	Rp 82,825,734	Rp 1,504,213,500	Rp 156,341,664	Rp 169,043,165	Rp 325,384,829
2016	Rp 294,216,106	Rp 1,591,610,577	Rp 159,057,797	Rp 165,089,243	Rp 324,147,039
2017	Rp 35,995,370	Rp 1,601,745,598	Rp 154,469,001	Rp 161,712,057	Rp 316,181,058
2018	Rp 38,964,190	Rp 1,612,144,589	Rp 150,509,693	Rp 158,811,377	Rp 309,321,070
2019	Rp 1,240,866,175	Rp 1,926,049,444	Rp 174,566,734	Rp 156,308,033	Rp 330,874,766
2020	Rp 65,853,316	Rp 1,941,840,031	Rp 171,287,217	Rp 154,138,668	Rp 325,425,885

<b>Tahun</b>	<b>Biaya O &amp; M</b>	<b>(P/f,I,n)</b>	<b>Annual O &amp; M Cost</b>	<b>Annual Acquisition Cost</b>	<b>EUAC</b>
2021	Rp 448,142,003	Rp 2,043,695,375	Rp 175,837,779	Rp 152,251,997	Rp 328,089,776
2022	Rp 29,253,675	Rp 2,049,997,633	Rp 172,385,462	Rp 150,606,075	Rp 322,991,537
2023	Rp 43,494,326	Rp 2,058,879,328	Rp 169,515,466	Rp 149,166,286	Rp 318,681,753
2024	Rp 1,848,498,158	Rp 2,416,670,656	Rp 195,133,299	Rp 147,903,826	Rp 343,037,125
2025	Rp 34,350,875	Rp 2,422,972,914	Rp 192,148,100	Rp 146,794,552	Rp 338,942,652
2026	Rp 51,714,548	Rp 2,431,966,204	Rp 189,669,965	Rp 145,818,095	Rp 335,488,060
2027	Rp 38,233,383	Rp 2,438,268,461	Rp 187,242,482	Rp 144,957,172	Rp 332,199,653
2028	Rp 698,223,904	Rp 2,547,361,155	Rp 192,831,421	Rp 144,197,035	Rp 337,028,456
2029	Rp 61,511,486	Rp 2,556,470,868	Rp 190,956,431	Rp 143,525,047	Rp 334,481,478
2030	Rp 44,895,220	Rp 2,562,773,125	Rp 189,066,666	Rp 142,930,329	Rp 331,996,994
2031	Rp 2,963,364,200	Rp 2,957,074,782	Rp 215,650,689	Rp 142,403,479	Rp 358,054,168
2032	Rp 49,969,502	Rp 2,963,377,039	Rp 213,797,189	Rp 141,936,349	Rp 355,733,538
2033	Rp 77,566,289	Rp 2,972,649,856	Rp 212,325,151	Rp 141,521,851	Rp 353,847,002
2034	Rp 55,617,305	Rp 2,978,952,113	Rp 210,792,745	Rp 141,153,804	Rp 351,946,549
2035	Rp 1,115,100,115	Rp 3,098,721,987	Rp 217,359,712	Rp 140,826,804	Rp 358,186,517
2036	Rp 61,903,451	Rp 3,105,024,245	Rp 216,030,737	Rp 140,536,118	Rp 356,566,856
2037	Rp 97,879,409	Rp 3,114,469,640	Rp 215,040,523	Rp 140,277,589	Rp 355,318,112
2038	Rp 68,900,089	Rp 3,120,771,898	Rp 213,943,312	Rp 140,047,562	Rp 353,990,873
2039	Rp 5,082,920,052	Rp 3,561,465,934	Rp 242,530,009	Rp 139,842,817	Rp 382,372,826
2040	Rp 76,687,521	Rp 3,567,768,191	Rp 241,445,319	Rp 139,660,514	Rp 381,105,834
2041	Rp 80,905,335	Rp 3,574,070,449	Rp 240,460,257	Rp 139,498,145	Rp 379,958,402
2042	Rp 131,038,017	Rp 3,583,745,735	Rp 239,792,781	Rp 139,353,492	Rp 379,146,273

Tahun	Biaya O & M	(P/f,I,n)	Annual O & M Cost	Annual Acquisition Cost	EUAC
2043	Rp 90,049,661	Rp 3,590,047,992	Rp 238,983,333	Rp 139,224,590	Rp 378,207,923
2044	Rp 2,037,194,566	Rp 3,725,191,164	Rp 246,787,968	Rp 139,109,700	Rp 385,897,669
2045	Rp 100,227,524	Rp 3,731,493,421	Rp 246,091,396	Rp 139,007,280	Rp 385,098,676
2046	Rp 165,620,985	Rp 3,741,364,668	Rp 245,699,201	Rp 138,915,961	Rp 384,615,163
2047	Rp 111,555,739	Rp 3,747,666,926	Rp 245,136,659	Rp 138,834,528	Rp 383,971,187
2048	Rp 9,328,795,647	Rp 4,247,215,056	Rp 276,777,824	Rp 138,761,900	Rp 415,539,725
2049	Rp 124,164,327	Rp 4,253,517,313	Rp 276,219,483	Rp 138,697,118	Rp 414,916,601
2050	Rp 209,485,072	Rp 4,263,595,906	Rp 275,965,061	Rp 138,639,328	Rp 414,604,389
2051	Rp 138,198,000	Rp 4,269,898,164	Rp 275,520,862	Rp 138,587,771	Rp 414,108,633
2052	Rp 3,482,846,643	Rp 4,420,446,608	Rp 284,409,066	Rp 138,541,769	Rp 422,950,836
2053	Rp 153,817,829	Rp 4,426,748,865	Rp 284,039,500	Rp 138,500,723	Rp 422,540,223
2054	Rp 265,164,426	Rp 4,437,046,850	Rp 283,972,238	Rp 138,464,095	Rp 422,436,333
2055	Rp 171,203,089	Rp 4,443,349,108	Rp 283,692,130	Rp 138,431,407	Rp 422,123,537
2056	Rp 180,619,259	Rp 4,449,651,365	Rp 283,452,705	Rp 138,402,235	Rp 421,854,940

9. Perhitungan Nilai EUAC Peralatan Kritis HP Boiler Feed Pump (B)

Tahun	Biaya O & M	(P/f,I,n)	Annual O & M Cost	Annual Acquisition Cost	EUAC
2001	Rp 115,471,981	Rp 107,035,667	Rp 113,612,272	Rp 1,637,624,191	Rp 1,751,236,462

<b>Tahun</b>	<b>Biaya O &amp; M</b>	<b>(P/f,I,n)</b>	<b>Annual O &amp; M Cost</b>	<b>Annual Acquisition Cost</b>	<b>EUAC</b>
2002	Rp 26,014,588	Rp 129,387,892	Rp 70,715,681	Rp 865,159,950	Rp 935,875,631
2003	Rp 553,248,911	Rp 570,020,142	Rp 213,819,747	Rp 608,770,681	Rp 822,590,428
2004	Rp 33,627,515	Rp 594,845,893	Rp 172,235,093	Rp 481,394,891	Rp 653,629,983
2005	Rp 156,317,362	Rp 701,817,061	Rp 167,263,458	Rp 405,618,650	Rp 572,882,108
2006	Rp 38,382,369	Rp 726,163,935	Rp 148,344,844	Rp 355,636,000	Rp 503,980,844
2007	Rp 203,337,673	Rp 845,722,633	Rp 152,276,526	Rp 320,386,165	Rp 472,662,691
2008	Rp 43,902,575	Rp 869,650,568	Rp 140,845,927	Rp 294,337,860	Rp 435,183,787
2009	Rp 206,418,969	Rp 973,934,342	Rp 144,090,678	Rp 274,417,400	Rp 418,508,079
2010	Rp 55,943,787	Rp 1,000,132,509	Rp 136,816,549	Rp 258,779,954	Rp 395,596,503
2011	Rp 275,368,692	Rp 1,119,664,872	Rp 143,015,267	Rp 246,251,018	Rp 389,266,285
2012	Rp 18,391,843	Rp 1,127,065,152	Rp 135,498,597	Rp 236,047,162	Rp 371,545,759
2013	Rp 66,561,108	Rp 1,151,890,497	Rp 131,216,788	Rp 227,625,661	Rp 358,842,449
2014	Rp 292,167,770	Rp 1,252,899,239	Rp 136,000,123	Rp 220,598,574	Rp 356,598,697
2015	Rp 80,637,327	Rp 1,278,740,559	Rp 132,906,949	Rp 214,681,185	Rp 347,588,133
2016	Rp 388,143,998	Rp 1,394,038,975	Rp 139,313,455	Rp 209,659,788	Rp 348,973,242
2017	Rp 28,425,918	Rp 1,402,042,706	Rp 135,210,071	Rp 205,370,835	Rp 340,580,906
2018	Rp 98,683,343	Rp 1,428,379,894	Rp 133,353,435	Rp 201,687,034	Rp 335,040,469
2019	Rp 413,852,173	Rp 1,533,073,058	Rp 138,949,473	Rp 198,507,840	Rp 337,457,314
2020	Rp 117,531,993	Rp 1,561,255,377	Rp 137,716,333	Rp 195,752,794	Rp 333,469,127
2021	Rp 577,278,531	Rp 1,692,461,341	Rp 145,617,907	Rp 193,356,761	Rp 338,974,669
2022	Rp 37,151,538	Rp 1,700,465,072	Rp 142,993,071	Rp 191,266,477	Rp 334,259,547
2023	Rp 142,286,043	Rp 1,729,520,384	Rp 142,398,076	Rp 189,437,976	Rp 331,836,052
2024	Rp 41,350,590	Rp 1,737,524,116	Rp 140,295,829	Rp 187,834,678	Rp 328,130,507
2025	Rp 657,376,096	Rp 1,858,131,039	Rp 147,354,660	Rp 186,425,924	Rp 333,780,584

Tahun	Biaya O & M	(P/f,I,n)	Annual O & M Cost	Annual Acquisition Cost	EUAC
2026	Rp 172,315,358	Rp 1,888,097,113	Rp 147,253,409	Rp 185,185,845	Rp 332,439,254
2027	Rp 48,555,574	Rp 1,896,100,845	Rp 145,607,686	Rp 184,092,491	Rp 329,700,176
2028	Rp 921,662,145	Rp 2,040,104,230	Rp 154,432,832	Rp 183,127,134	Rp 337,559,966
2029	Rp 208,755,617	Rp 2,071,020,469	Rp 154,695,554	Rp 182,273,723	Rp 336,969,277
2030	Rp 57,015,964	Rp 2,079,024,200	Rp 153,378,451	Rp 181,518,444	Rp 334,896,895
2031	Rp 981,226,932	Rp 2,209,585,069	Rp 161,138,482	Rp 180,849,356	Rp 341,987,839
2032	Rp 252,989,106	Rp 2,241,492,580	Rp 161,715,774	Rp 180,256,111	Rp 341,971,886
2033	Rp 66,950,504	Rp 2,249,496,312	Rp 160,673,025	Rp 179,729,708	Rp 340,402,732
2034	Rp 1,376,922,527	Rp 2,405,521,853	Rp 170,216,416	Rp 179,262,296	Rp 349,478,712
2035	Rp 306,698,653	Rp 2,438,463,522	Rp 171,045,912	Rp 178,847,013	Rp 349,892,926
2036	Rp 78,616,052	Rp 2,446,467,254	Rp 170,211,916	Rp 178,477,848	Rp 348,689,763
2037	Rp 1,465,225,278	Rp 2,587,861,981	Rp 178,680,565	Rp 178,149,521	Rp 356,830,086
2038	Rp 371,933,423	Rp 2,621,882,550	Rp 179,742,145	Rp 177,857,392	Rp 357,599,537
2039	Rp 92,314,221	Rp 2,629,886,281	Rp 179,090,957	Rp 177,597,370	Rp 356,688,327
2040	Rp 2,057,780,173	Rp 2,798,996,718	Rp 189,419,441	Rp 177,365,850	Rp 366,785,291
2041	Rp 451,189,211	Rp 2,834,142,862	Rp 190,678,592	Rp 177,159,645	Rp 367,838,237
2042	Rp 108,399,178	Rp 2,842,146,594	Rp 190,171,482	Rp 176,975,937	Rp 367,147,419
2043	Rp 2,188,798,702	Rp 2,995,332,877	Rp 199,394,169	Rp 176,812,235	Rp 376,206,404
2044	Rp 547,506,418	Rp 3,031,653,292	Rp 200,842,192	Rp 176,666,328	Rp 377,508,519
2045	Rp 127,286,800	Rp 3,039,657,024	Rp 200,464,896	Rp 176,536,257	Rp 377,001,152
2046	Rp 3,076,302,351	Rp 3,223,009,042	Rp 211,658,263	Rp 176,420,284	Rp 388,078,547
2047	Rp 664,589,638	Rp 3,260,554,532	Rp 213,274,408	Rp 176,316,865	Rp 389,591,272
2048	Rp 149,465,426	Rp 3,268,558,264	Rp 213,001,798	Rp 176,224,629	Rp 389,226,428
2049	Rp 3,270,857,448	Rp 3,434,578,457	Rp 223,038,350	Rp 176,142,357	Rp 399,180,708

<b>Tahun</b>	<b>Biaya O &amp; M</b>	<b>(P/f,I,n)</b>	<b>Annual O &amp; M Cost</b>	<b>Annual Acquisition Cost</b>	<b>EUAC</b>
2050	Rp 806,953,645	Rp 3,473,402,023	Rp 224,819,054	Rp 176,068,965	Rp 400,888,020
2051	Rp 175,508,488	Rp 3,481,405,755	Rp 224,642,340	Rp 176,003,488	Rp 400,645,828
2052	Rp 4,600,332,328	Rp 3,680,258,287	Rp 236,785,763	Rp 175,945,068	Rp 412,730,831
2053	Rp 980,101,619	Rp 3,720,415,222	Rp 238,718,055	Rp 175,892,939	Rp 414,610,995
2054	Rp 206,089,328	Rp 3,728,418,954	Rp 238,619,855	Rp 175,846,422	Rp 414,466,277
2055	Rp 4,889,455,087	Rp 3,908,407,555	Rp 249,538,004	Rp 175,804,910	Rp 425,342,914
2056	Rp 229,382,574	Rp 3,916,411,286	Rp 249,484,124	Rp 175,767,862	Rp 425,251,986

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap **Gede Bayu Anugrah Janardana** merupakan anak pertama dari empat bersaudara yang lahir di Samarinda, 15 November 1993. Penulis telah menamatkan pendidikan formal mulai dari tingkat dasar di SDN 1 Renon Denpasar, pendidikan menengah pertama di SMPN 6 Denpasar, dan pendidikan menengah atas di SMAN 4 Denpasar. Penulis menamatkan gelar sarjananya di Jurusan Teknik Elektro ITS Surabaya di bidang keahlian Teknik Sistem Tenaga Angkatan Tahun 2011 dan terakhir saat ini telah menyelesaikan program Magister

Manajemen Teknologi ITS dengan bidang keahlian Manajemen Industri pada Angkatan tahun 2018. Selama menjalani pendidikan di S1 Teknik Elektro ITS, penulis aktif dan berprestasi dalam bidang keilmiahannya serta organisasi dan menamatkan program pendidikan sarjana dengan masa studi 3.5 tahun dan IPK dengan predikat *cumlaude* (Dengan Pujian). Saat ini penulis bekerja di PT. Pembangkitan Jawa Bali, salah satu perusahaan pembangkit tenaga listrik terbesar di Indonesia sebagai *Asistant Engineer* bidang *System Owner* di Unit Pembangkitan Gresik. Selama berkarir penulis aktif mengembangkan karya – karya inovasi di bidang pembangkitan utamanya dalam bidang pengoperasian pembangkit, manajemen pembangkit dan keandalan. Saat ini penulis sedang melakukan penelitian tesis yang berjudul Analisis Keandalan dan Biaya Siklus Hidup untuk Optimalisasi Manajemen Aset Pembangkit (Studi Kasus Peralatan *Steam Turbine* di PT. Pembangkitan Jawa Bali). Penelitian yang dilakukan penulis diharapkan dapat memberikan kontribusi kepada perusahaan untuk meningkatkan sistem manajemen pengelolaan aset pembangkit guna menciptakan sistem proses bisnis yang lebih efektif dan efisien. Penulis dapat dihubungi melalui email [gede.bayu@ptpjb.com](mailto:gede.bayu@ptpjb.com) atau [anugrah.janardana@gmail.com](mailto:anugrah.janardana@gmail.com).

...the ...

...the ...

...the ...

...the ...

...the ...

...the ...

...the ...

...the ...

...the ...

...the ...

...the ...

...the ...

...the ...

...the ...

...the ...

...the ...

...the ...

...the ...