



TUGAS AKHIR – TI 184833

**ANALISIS BIAYA SIKLUS HIDUP ASET DI PT PJB
UNIT PEMBANGKIT GRESIK**

NADA FARAH DIBA
NRP. 02411640000003

DOSEN PEMBIMBING:
STEFANUS EKO WIRATNO, S.T., M.T.
NIP. 197103171998021001

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM DAN INDUSTRI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN REKAYASA SISTEM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020



TUGAS AKHIR – TI 184833

**ANALISIS BIAYA SIKLUS HIDUP ASET DI PT PJB
UNIT PEMBANGKIT GRESIK**

NADA FARAH DIBA
NRP. 0241164000003

DOSEN PEMBIMBING:
STEFANUS EKO WIRATNO, S.T., M.T.
NIP. 197103171998021001

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM DAN INDUSTRI
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020



FINAL PROJECT – TI 184833

**LIFE CYCLE COST ANALYSIS OF ASSETS IN PT PJB UNIT
PEMBANGKIT GRESIK**

NADA FARAH DIBA
NRP. 0241164000003

SUPERVISOR:
STEFANUS EKO WIRATNO, S.T., M.T.
NIP. 197103171998021001

DEPARTEMENT OF INDUSTRIAL AND SYSTEM ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology and System Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISIS BIAYA SIKLUS HIDUP ASET
DI PT PJB UNIT PEMBANGKIT GRESIK**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem dan Industri
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Oleh:

NADA FARAH DIBA

NRP. 0241164000003

Disetujui Oleh:

Dosen Pembimbing Tugas Akhir


Stefanius Eko Wiratno, S.T., M.T.

NIP. 197103171998021001



(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

ANALISIS BIAYA SIKLUS HIDUP ASET DI PT PJB UNIT PEMBANGKIT GRESIK

Nama Mahasiswa : Nada Farah Diba
NRP : 024116400000003
Pembimbing : Stefanus Eko Wiratno, S.T., M.T.

ABSTRAK

Penelitian ini membahas analisis biaya siklus hidup aset (subsistem) selama *planning horizon* pabrik (sistem) di PLTU 3 PT PJB Unit Pembangkit Gresik. Permasalahan yang dihadapi adalah menentukan umur ekonomis dan penggantian aset agar dapat memberikan *service* selama *planning horizon* pabrik. Analisis biaya siklus hidup melibatkan estimasi dari biaya, inflasi, dan kurs yang berpotensi memiliki perbedaan dengan realisasi sehingga diperlukan prosedur untuk membuat keputusan yang tepat. Prosedur dirancang dengan melakukan beberapa eksperimen perhitungan pada dua aset yang dianggap mewakili keseluruhan aset yang ada. Metode yang digunakan adalah *equivalent uniform annual cost* (EUAC) untuk mendapatkan umur ekonomis, analisis penggantian untuk menentukan keputusan *keep* atau *keep and improve* atau *replace*, serta *rolling planning horizon* (RPH) untuk menentukan durasi pemakaian aset. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa keputusan pemakaian aset ditentukan berdasarkan umur ekonomis yang dihitung secara berkala dengan mengabaikan *sunk cost*. Penelitian ini merekomendasikan prosedur *planning* untuk merencanakan pengelolaan aset pada saat awal penggunaan aset dan prosedur *controlling* untuk mengkonfirmasi perbedaan data estimasi dan rill serta menentukan waktu penggantian yang tepat.

Kata Kunci: Analisis Biaya Siklus Hidup, Analisis Penggantian, Prosedur, *Rolling Planning Horizon*

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

LIFE CYCLE COST ANALYSIS OF ASSETS IN PT PJB UNIT PEMBANGKIT GRESIK

Name : Nada Farah Diba
NRP : 024116400000003
Supervisor : Stefanus Eko Wiratno, S.T., M.T.

ABSTRACT

This study discusses the analysis of asset life cycle costs (subsystems) during the planning horizon of the plant (system) at PLTU 3 PT PJB Gresik Power Plant. The problem faced is determining the economic age and asset replacement in order to provide service during the plant planning horizon. Life cycle cost analysis involves estimating costs, inflation, and exchange rates that probably differ from real data so that procedures are needed to make the right decisions. The procedure is designed by performing experiments on two assets which are considered to represent all existing assets. The method is used equivalent uniform annual cost (EUAC) to obtain economic life, replacement analysis to determine the decision to keep or keep and improve or replace, and the rolling planning horizon (RPH) to determine the duration of asset use. The experimental results show that the decision to use assets is determined based on the economic age which is calculated periodically by ignoring the sunk cost. This study recommends planning procedures to plan asset management at the time of initial use of assets and controlling procedures to confirm differences in estimated and real data and also determine the appropriate replacement time.

Kata Kunci: Life Cycle Cost Analysis (LCCA), Procedure, Replacement Analysis, Rolling Planning Horizon

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis mampu menyelesaikan penelitian Tugas Akhir dengan judul “Analisis Biaya Siklus Hidup Aset di PT PJB Unit Pembangkit Gresik”. Tujuan penyelesaian penelitian Tugas Akhir ini sebagai salah satu syarat menyelesaikan program studi Strata-1 (S1) di Departemen Teknik Sistem dan Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Selama pengerjaan Tugas Akhir ini, penulis menyadari bahwa dalam penulisan ini mengalami beberapa kendala. Namun dengan adanya bantuan, bimbingan, dan kerjasama dengan berbagai pihak, akhirnya kendala tersebut dapat teratasi. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dan memberikan dukungan di dalam penyelesaian penelitian Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Kedua orangtua penulis yang selalu memberikan dukungan dan semangat kepada penulis.
2. Stefanus Eko Wiratno, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang memberikan pengarahan dan bimbingan penelitian Tugas Akhir.
3. Bapak Bayu dan Bapak Akhidin selaku pembimbing eksternal dari perusahaan yang selalu memberikan bantuan dalam menyediakan data untuk menyelesaikan penelitian Tugas Akhir penulis.
4. Nurhadi Siswanto, S.T., M.S.I.E., Ph.D. selaku Kepala Departemen Teknik Sistem dan Industri ITS Surabaya serta seluruh dosen dan karyawan Teknik Sistem dan Industri ITS yang turut membantu dan memberikan pelajaran kepada penulis selama menempuh pendidikan di Departemen Teknik Sistem dan Industri ITS.
5. Yudha Prasetyawan, S.T., M. Eng., Yudha Andrian Saputra, S.T., MBA, dan Putu Dana Karningsih, S. T., M. Eng. Sc., Ph. D., selaku dosen penguji Seminar Proposal yang telah memberikan masukan dan saran dalam pengerjaan penelitian Tugas Akhir penulis.

6. Yudha Andrian Saputra, S.T., MBA, dan Dewanti Anggrahini S.T., M.T., selaku dosen penguji Sidang Tugas Akhir yang telah memberikan masukan dan saran dalam pengerjaan penelitian Tugas Akhir penulis.
7. Teman-teman angkatan Adhigana TI-32 yang selalu memberikan dukungan dan bantuan kepada penulis.
8. Semua pihak terlibat yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan laporan Tugas Akhir ini tidak lepas dari kesalahan dan kekurangan. Oleh karena itu, penulis meminta maaf atas segala kesalahan dan kekurangan tersebut. Penulis sangat terbuka atas kritik dan saran dari pembaca yang dapat membangun dan memperbaiki penulisan selanjutnya. Penulis juga berharap penelitian Tugas Akhir ini bermanfaat untuk kedepannya.

Penulis

Nada Farah Diba

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan Penelitian.....	6
1.4 Manfaat Penelitian.....	6
1.5 Ruang Lingkup Penelitian	7
1.5.1 Batasan Penelitian	7
1.5.2 Asumsi Penelitian	7
1.6 Sistematika Penulisan	8
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	11
2.1 Jenis Pemeliharaan	11
2.2 Aset dan Manajemen Aset	12
2.3 <i>Life Cycle Cost Analysis (LCCA)</i>	17
2.4 Analisis Penggantian	20
2.4.1 Defender dan Challenger	20
2.4.2 Sunk Cost.....	23
2.4.3 Sudut Pandang dari Luar Sistem	23
2.4.4 Asumsi Analisis Penggantian.....	23
2.4.5 Umur Ekonomis Aset	29
2.4.6 Analisis Penggantian Setelah Pajak.....	30
2.5 Konsep Revaluasi Aset Tetap	31
2.6 Komponen Biaya Pokok Pembangkit (BPP) Listrik	31
2.6.1 Komponen A (<i>Capital Cost Recovery</i>).....	31
2.6.2 Komponen B (<i>Fixed Operational and Maintenance Cost</i>).....	32

2.6.3	Komponen C (<i>Fuel Cost</i>).....	32
2.6.4	Komponen D (<i>Variable Operational and Maintenance Cost</i>).....	32
2.7	<i>Rolling Planning Horizon</i>	32
BAB 3	METODOLOGI PENELITIAN.....	35
3.1	Tahap Pendahuluan	36
3.1.1	Studi Literatur	36
3.1.2	Identifikasi Kondisi Awal.....	37
3.2	Tahap Pengumpulan dan Pengolahan Data	37
3.2.1	Identifikasi Komponen Biaya	38
3.2.2	Pengolahan Data.....	40
3.3	Tahap Analisis.....	41
3.3.1	Perumusan Skenario	41
3.3.2	Experiment (<i>What-If Analysis</i>).....	42
3.4	Tahap Perancangan Prosedur.....	43
3.5	Tahap Kesimpulan dan Saran	43
BAB 4	PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA	45
4.1	Identifikasi Kondisi Awal Perhitungan <i>Life Cycle Cost</i> dan Analisis Penggantian di PT PJB Unit Pembangkit Gresik	45
4.2	Komponen Perhitungan <i>Life Cycle Cost</i>	46
4.3	Perhitungan <i>Life Cycle Cost</i>	47
4.3.1	Perhitungan Biaya <i>Capital Recovery</i>	47
4.3.2	Perhitungan Biaya O&M	49
4.3.3	Perhitungan EUAC.....	54
4.4	Analisis Penggantian pada <i>Finite Planning Horizon</i>	57
BAB 5	ANALISIS DAN PEMBAHASAN	61
5.1	Analisis Kondisi Eksisting.....	61
5.2	Pengaruh Penggunaan <i>Sunk Cost</i> terhadap Perhitungan	62
5.3	Pengaruh Berbagai Kejadian pada <i>Challenger</i>	66
5.3.1	Apabila Asumsi <i>Repeatability</i> Tidak Berlaku	66
5.3.2	Adanya Potensial <i>Challenger</i>	68
5.3.3	Multiple <i>Challenger</i>	70
5.4	<i>Rolling Planning Horizon</i>	73

5.4.1	Pengaruh Inflasi.....	77
5.4.2	Pengaruh Revaluasi terhadap Biaya <i>Capital Recovery</i>	81
5.4.3	Pengaruh <i>Salvage Value</i> terhadap Biaya <i>Capital Recovery</i>	82
BAB 6 PERANCANGAN PROSEDUR.....		91
6.1	Prosedur <i>Planning</i>	91
6.2	Prosedur <i>Controlling</i>	94
6.2.1	Prosedur <i>Tracking</i>	95
6.2.2	Prosedur Analisis Penggantian.....	98
BAB 7 KESIMPULAN DAN SARAN.....		101
7.1	Kesimpulan	101
7.2	Saran	102
DAFTAR PUSTAKA		105
LAMPIRAN		109
BIODATA PENULIS		117

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Skenario pada Prosedur	42
Tabel 4.1 <i>Asset Depreciation Range</i>	47
Tabel 4.2 Biaya <i>Capital Recovery Generator Transformer</i> (Rp).....	49
Tabel 4.3 Total Biaya <i>Corrective Maintenance</i> pada <i>Generator Transformer</i> (Rp)	50
Tabel 4.4 Total Biaya Pemeliharaan <i>Generator Transformer</i> (Ribu Rp)	51
Tabel 4.5 Total Perhitungan Biaya Operasional <i>Generator Transformer</i> (Rp)	52
Tabel 4.6 Total Perhitungan Konsumsi Energi <i>Generator Transformer</i> (Rp)	53
Tabel 4.7 Perhitungan EUAC <i>Defender Generator Transformer</i> (Juta Rp)	54
Tabel 4.8 Perbandingan Antara <i>Defender</i> dan <i>Challenger</i> pada <i>Constant Voltage</i>	55
Tabel 4.9 Perbandingan <i>Marginal Cost</i> dan EUAC <i>Challenger Constant Voltage</i>	56
Tabel 4.10 EUAC <i>Defender</i> dan <i>Challenger</i> (Rp).....	57
Tabel 4.11 Rekap Perhitungan <i>Present Worth</i> pada <i>Finite Planning Horizon</i> (Rp)	58
Tabel 5.1 Rekap Perhitungan Umur Ekonomis pada 9 Aset dengan <i>Capital Cost</i> Tertinggi	61
Tabel 5.2 Perhitungan EUAC pada <i>Constant Voltage Panel</i> dengan $t =$ Tahun Akuisisi (Rp).....	63
Tabel 5.3 Perhitungan EUAC pada <i>Constant Voltage Panel</i> dengan $t = 2020$ (Rp)	63
Tabel 5.4 Perhitungan EUAC pada <i>Generator Transformer</i> dengan $t =$ Tahun Akuisisi (Rp).....	63
Tabel 5.5 Perhitungan EUAC pada <i>Generator Transformer</i> dengan $t = 2020$ (Rp)	64
Tabel 5.6 Perhitungan dengan Menggunakan Asumsi <i>Repeatability</i> pada $t =$ Tahun Akuisisi (Rp).....	67
Tabel 5.7 Perhitungan dengan Menggunakan Asumsi <i>Repeatability</i> pada $t = 2020$ (Rp)	67
Tabel 5.8 Perhitungan EUAC dengan Adanya Potensial <i>Challenger</i> Sebelum Umur Ekonomis <i>Defender</i> (Rp).....	68
Tabel 5.9 Perbandingan <i>Present Worth</i> Alternatif Penggantian Aset.....	69

Tabel 5.10 Perbandingan Beberapa Alternatif <i>Challenger</i> (Rp)	70
Tabel 5.11 <i>Present Worth</i> Alternatif Penggunaan Mesin Merk Jenbacher	71
Tabel 5.12 <i>Present Worth</i> Alternatif Penggunaan Mesin dari China	71
Tabel 5.13 Rekap Perhitungan EUAC pada Tahun Berjalan (Rp)	73
Tabel 5.14 Rekap Data Perbandingan Beberapa Percobaan pada Tahun Berjalan .	74
Tabel 5.15 Analisis Sensitivitas Inflasi pada <i>Challenger</i> dengan <i>Asset Depreciation Range</i> 17,5.....	80
Tabel 5.16 Analisis Sensitivitas Inflasi pada <i>Challenger</i> dengan <i>Asset Depreciation Range</i> 22.....	80
Tabel 5.17 Analisis Sensitivitas Inflasi pada <i>Challenger</i> dengan <i>Asset Depreciation Range</i> 26,5.....	80
Tabel 5.18 Perhitungan EUAC <i>Defender</i> dengan Melibatkan <i>Salvage Value</i> dalam Perhitungan (Rp).....	82
Tabel 5.19 Perhitungan EUAC <i>Challenger</i> dengan <i>Salvage Value</i> dilibatkan dalam perhitungan (Rp)	83
Tabel 5.20 Perhitungan <i>Marginal Cost</i> dengan <i>Salvage Value</i> dilibatkan dalam perhitungan (Rp).....	83
Tabel 5.21 Perhitungan EUAC <i>Challenger</i> dengan <i>Salvage Value</i> dilibatkan dalam perhitungan (Rp).....	84
Tabel 5.22 Perhitungan EUAC <i>Defender</i> dengan Tidak Melibatkan <i>Salvage Value</i> pada Umur Ekonomis.....	84
Tabel 5.23 Perhitungan EUAC <i>Challenger</i> dengan Penambahan <i>Salvage Value Defender</i> (Rp).....	85
Tabel 5.24 Perhitungan <i>Marginal Cost</i> dengan <i>Salvage Value Defender</i> dibebankan pada <i>challenger</i> (Rp).....	86
Tabel 5.25 Perhitungan EUAC <i>Challenger</i> dengan Penambahan <i>Salvage Value Defender</i> (Rp).....	86
Tabel 5.26 Perhitungan <i>Marginal Cost</i> dengan <i>Salvage Value Defender</i> dibebankan pada <i>challenger</i> (Rp).....	87
Tabel 5.27 Rekap Skenario Pengaruh <i>Salvage Value</i> terhadap Perhitungan EUAC	87
Tabel 5.28 Rekap Pengaruh Perubahan <i>Salvage Value</i> terhadap Umur Ekonomis <i>Defender</i>	88

Tabel 6. 1 Kebutuhan Data Masukan <i>Defender</i>	93
---	----

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Pertumbuhan Konsumsi Listrik per Kapita	2
Gambar 2. 1 <i>Total Lifecycle Asset Management</i>	14
Gambar 2. 2 <i>Asset Life Cycle Management</i>	15
Gambar 2. 3 <i>EAM Maturity Continuum</i>	16
Gambar 2. 4 <i>SAMI Asset Model</i>	17
Gambar 2. 5 <i>Life Cycle Phase</i>	18
Gambar 2. 6 <i>LCC Process</i>	19
Gambar 2. 7 Grafik Perbandingan <i>Marginal Cost Defender</i> dan <i>EUAC Challenger</i>	21
Gambar 2. 8 Grafik Waktu untuk Melakukan Penggantian Berdasarkan <i>EAC Defender</i> (.....)	23
Gambar 2. 9 Alternatif Identik pada Analisis Penggantian.....	27
Gambar 2. 10 Informasi <i>Current Alternative</i> Tidak Tersedia	27
Gambar 2. 11 Alternatif ketika penggantian berdasarkan <i>challenger</i> terbaik.....	28
Gambar 2. 12 Grafik <i>EUAC</i>	30
Gambar 3. 1 Diagram Alir Metodologi Penelitian.....	35
Gambar 4. 1 <i>LCCM Data Analysis</i> dan <i>Calculation</i>	45
Gambar 4. 2 <i>Mind Map</i> Perhitungan <i>Life Cycle Cost</i>	46
Gambar 4. 3 Alternatif Penggantian pada <i>Finite Planning Horizon</i>	58
Gambar 5. 1 Grafik <i>EUAC Generator Transformer</i>	65
Gambar 5. 2 Grafik <i>EUAC Constant Voltage</i>	65
Gambar 5. 3 Ilustrasi Pengaruh Potensial <i>Challenger</i>	69
Gambar 5.4 Pendekatan <i>Rolling Planning Horizon</i>	75
Gambar 5.5 Ilustrasi <i>Rolling Planning Horizon</i>	76
Gambar 5.6 Analisis Sensitivitas Inflasi (Masa Manfaat:17,5).....	78
Gambar 5.7 Analisis Sensitivitas Inflasi (Masa Manfaat:22).....	78
Gambar 5.8 Analisis Sensitivitas Inflasi (Masa Manfaat:26,5).....	79
Gambar 5.9 Ilustrasi Perubahan <i>EUAC</i> Akibat Mempertimbangkan Revaluasi.....	81
Gambar 6.1 Prosedur <i>Planning</i> Pengelolaan Biaya Siklus Hidup	92
Gambar 6. 2 Prosedur <i>Tracking</i> Pengelolaan Biaya Siklus Hidup	96

Gambar 6.3 Prosedur Analisis Penggantian Pengelolaan Biaya Siklus Hidup 99

BAB 1

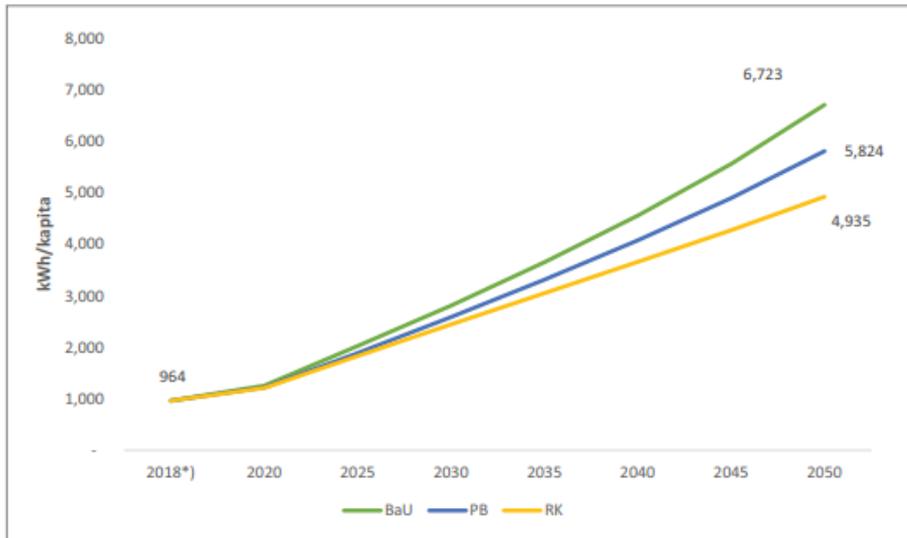
PENDAHULUAN

Pada bab ini akan dipaparkan mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, dan ruang lingkup dari penelitian yang meliputi batasan dan asumsi serta sistematika penulisan dari penelitian Tugas Akhir yang dilaksanakan di PT Pembangkit Jawa Bali (PJB) Unit Pembangkit Gresik yang berlokasi di Kabupaten Gresik, Jawa Timur.

1.1 Latar Belakang

Sektor kelistrikan memegang peran yang besar dalam pembangunan sebuah negara. Perannya tidak hanya meningkatkan pembangunan infrastruktur guna mempercepat kemajuan bangsa tetapi juga berperan dalam memenuhi kebutuhan sosial masyarakat sehari-hari. Oleh sebab itu, Indonesia harus mampu memenuhi konsumsi listrik sebagai kebutuhan primer. Pemenuhan kebutuhan listrik tersebut dipenuhi dari berbagai jenis pembangkit seperti PLTU, PLTGU, PLTD, PLTG, PLTA, PLTMG, dan PLTS yang tersebar di seluruh Indonesia.

Seluruh pembangkit tersebut telah meningkatkan perkembangan rasio elektrifikasi secara nasional. Rasio elektrifikasi merupakan perbandingan antara jumlah pelanggan rumah tangga yang sudah dialiri listrik dibandingkan dengan keseluruhan rumah tangga di Indonesia. Peningkatan rasio tersebut sebesar 3,39% dari tahun 2017-2018 (PT Pembangkit Jawa-Bali, 2018). Peningkatan elektrifikasi tersebut selaras dengan proyek pemerintah yang mencanangkan penambahan kapasitas 35.000 MW pada industri listrik nasional (Kementerian ESDM, 2015). Proyek tersebut didukung dengan pertumbuhan konsumsi listrik nasional rata-rata 11-12% pada tahun 2025 dan 6-7% pada tahun 2050 (National Energy Council, 2019). Gambar 1.1 menunjukkan pertumbuhan konsumsi listrik per kapita dari tahun 2018–2050 untuk tiga skenario yaitu *Business as Usual* (BaU), Pembangunan Berkelanjutan (PB), dan Rendah Karbon (RK).



Gambar 1.1 Pertumbuhan Konsumsi Listrik per Kapita
(National Energy Council, 2019)

Pertumbuhan konsumsi listrik dan fakta bahwa industri pembangkit menghadapi lingkungan yang kompetitif mendorong organisasi untuk meningkatkan produktivitas, mengurangi biaya, dan meningkatkan kualitas produk. Oleh karena itu, industri pembangkit meningkatkan pengelolaan aset untuk mencapai keunggulan. Aset didefinisikan sebagai sumber daya yang dikuasai oleh perusahaan sebagai akibat dari kejadian yang terjadi pada masa lalu dan diharapkan dapat mendatangkan manfaat ekonomis di masa depan (Martani, 2012). Dalam beberapa bisnis, aset merupakan kebutuhan mendasar dalam pertumbuhan jangka panjang. Penuaan aset, perubahan kebijakan, dan lingkungan mengakibatkan kebutuhan terhadap manajemen aset semakin meningkat.

Manajemen aset didefinisikan sebagai sistem yang merencanakan dan mengendalikan aktivitas dan kinerja aset agar dapat memenuhi strategi kompetitif organisasi (El-Akruti, 2012). Manajemen aset melibatkan keputusan mengenai peningkatan, perluasan, penggantian atau *retirement* dari aset. Keputusan tersebut membutuhkan *Life Cycle Cost Analysis* (LCCA) untuk memilih aset dan menyeimbangkan kinerja jangka pendek dengan keberlanjutan jangka panjang (El-Akruti et al., 2013).

Tujuan dari manajemen aset adalah mengurangi biaya operasi dan biaya modal (Davis, 2014). Salah satu indikator pengelolaan aset (pembangkit listrik)

adalah Biaya Pokok Pembangkit (BPP) listrik yang rendah. BPP listrik terdiri dari empat komponen biaya, yaitu komponen A (biaya pengembalian investasi), komponen B (biaya operasi dan pemeliharaan tetap), komponen C (biaya bahan bakar), dan komponen D (biaya operasi dan pemeliharaan variabel). BPP dihitung dengan metode *Levelized Cost of Electricity* (LCOE) yang mempertimbangkan semua biaya yang berhubungan dengan pembangunan dan pengoperasian pembangkit selama umur ekonomisnya. BPP listrik digunakan untuk menghitung *life cycle cost* (LCC) yang menghasilkan *Total Cost of Ownership* (TCO).

TCO merupakan perkiraan semua biaya langsung dan tidak langsung terkait aset selama seluruh siklus hidupnya (Kemps, 2012). Prinsip TCO memiliki fundamental yang sama dengan konsep LCCA. LCCA merupakan metode perbandingan biaya dari beberapa alternatif dengan menggunakan pendekatan LCC. LCC merupakan penilaian ekonomi dari suatu aset yang mempertimbangkan semua biaya kepemilikan (fase awal sampai dengan fase dekomposisi) yang signifikan selama masa pakai aset tersebut (Dell'Isola & Kirk, 2003). Perhitungan LCC melibatkan *acquisition cost* dan *sustaining cost* (Barringer & Weber, 1996). *Sustaining cost* dapat dikategorikan sebagai biaya operasional dan pemeliharaan (Chowdhury & Raghavan, 2012).

Beberapa penelitian membahas mengenai implementasi LCCA di berbagai sektor. Masing-masing penelitian tersebut memiliki keunikan tersendiri sesuai dengan jenis aset dan industri yang berbeda. Chowdhury dan Raghavan (2012) meneliti mengenai LCCA pada komponen pembangkit listrik. Komponen pembangkit listrik dirancang untuk memenuhi tingkat keandalan tertentu dengan menerapkan strategi pemeliharaan. LCCA pada penelitian ini digunakan sebagai alat perencanaan yang terdiri dari tiga modul. Modul pertama digunakan untuk mengestimasi tingkat kegagalan komponen berdasarkan data kegagalan. Modul kedua digunakan untuk mengestimasi dampak *preventive maintenance* terhadap tingkat kegagalan. Modul ketiga berupa alat perhitungan biaya untuk mengevaluasi alternatif pada LCCA.

LCCA merupakan salah satu proses untuk menghasilkan nilai aset tertinggi yang disebut dengan *the performance culture* pada model piramida SAMI. Model piramida SAMI adalah solusi komprehensif dalam industri untuk mencapai

pengelolaan aset yang lebih baik (SamiCorp, n.d.). Model piramida SAMI tersusun dari program-program yang harus dilakukan untuk mencapai tingkat paling atas dalam pengelolaan aset. Salah satu dari langkah-langkah tersebut adalah LCC yang berada pada tingkat empat yaitu *engineered reliability*. LCC bersama dengan beberapa program lain seperti *Reliability Centered Maintenance (RCM)* dan *vendor reliability* dapat mewujudkan *the performance culture*. Sebelum melakukan LCC, *lean maintenance*, *functional integration*, dan TPM harus terlebih dahulu dilakukan. Model piramida SAMI dapat membantu pengambil keputusan untuk mengevaluasi alternatif *replace*, *keep*, serta *keep and improve* pada analisis penggantian.

Konsep analisis penggantian dilakukan dengan menarik biaya yang terdiri dari *capital recovery* dan *O&M cost* menuju arus kas tahunan yang disebut dengan *Equivalent Uniform Annual Cost (EUAC)*. Pendekatan EUAC digunakan untuk mengestimasi titik optimal EUAC yang merupakan titik terendah sebelum adanya kenaikan pada tahun berikutnya. Titik tersebut disebut dengan umur ekonomis. Konsep EUAC juga digunakan untuk memilih alternatif terbaik di antara *defender* (aset lama) dan *challenger* (aset baru). Pendekatan EUAC seringkali dikaitkan dengan pertimbangan analisis penggantian. Jika EUAC pada umur ekonomis *challenger* lebih rendah daripada *defender* maka keputusan penggantian aset dapat dilakukan. Analisis penggantian dapat dilakukan karena beberapa hal seperti peningkatan permintaan produk, kebutuhan pemeliharaan, penurunan fungsi fisik aset, dan keusangan (*obsolescence*) dari suatu aset karena adanya peralatan yang lebih canggih (Pujawan, 2009). Keputusan penggantian atau perbaikan sangat bervariasi antara satu industri dengan yang lain.

Industri pembangkit bisa jadi memiliki aturan yang berbeda dengan manufaktur, *oil & gas*, dan sebagainya. Aturan tersebut terkait dengan penggunaan basis mata uang dalam perhitungan LCC. Pada industri pembangkit, aliran kas pendapatan menggunakan IDR sedangkan aliran kas investasi menggunakan mata uang negara lain. Perbedaan tersebut menyebabkan pencatatan keuangan (inventarisasi) menggunakan satuan mata uang IDR. Hal tersebut menyebabkan kajian finansial seperti LCC dan analisis penggantian menggunakan satuan mata uang IDR.

PT PJB Unit Pembangkit Gresik merupakan salah satu pembangkit yang merencanakan untuk menerapkan konsep LCCA untuk semua asetnya secara bertahap. Hal ini selaras dengan keinginan PT PJB mewujudkan *best in operational excellent* dan menciptakan keunggulan kompetitif (PT Pembangkit Jawa-Bali, 2018). Keinginan untuk menerapkan LCCA didukung dengan diterapkannya program *predecessor* dari penerapan LCCA seperti yang dijelaskan di model SAMI oleh PT PJB. Melalui konsep LCCA dengan menggunakan basis perhitungan IDR, diharapkan PT PJB dapat melakukan pengelolaan aset dengan baik dan memaksimalkan penggunaannya.

PT PJB Unit Pembangkit Gresik memiliki beberapa pembangkit yang beroperasi. Beberapa pembangkit tersebut telah beroperasi sejak tahun 1980-1990 yaitu PLTU 1, PLTU 2, PLTU 3, PLTU 4, PLTGU 1, PLTGU 2, dan PLTGU 3. Salah satunya adalah PLTU 3 yang telah beroperasi sejak 1985. Saat ini biaya operasional PLTU 3 cenderung menunjukkan kenaikan. Hal tersebut didukung terjadinya penurunan efisiensi peralatan karena belum dilakukan penggantian sejak tahun 1989. Oleh sebab itu, PLTU 3 dianggap memiliki urgensi paling tinggi dalam analisis penggantian daripada PLTU yang lainnya.

Berdasarkan beberapa teori, pendekatan menggunakan LCCA dan analisis penggantian dianggap sebagai sebuah perencanaan statis dan rencana jangka panjang. Namun pada praktiknya teori tersebut tidak sepenuhnya dapat diterapkan di Indonesia. Adanya penurunan/kenaikan inflasi yang relatif tinggi, kurs yang fluktuatif serta biaya pemeliharaan yang mengalami perubahan menyebabkan timbulnya perbedaan antara hasil estimasi dan data riil. Perbedaan tersebut menyebabkan bergesernya umur ekonomis. Bergesernya umur ekonomis dapat merubah keputusan terhadap hasil LCCA yang telah dihitung sebelumnya. Oleh karena itu, diperlukan adanya prosedur pengambilan keputusan dalam manajemen aset dengan menerapkan LCCA. Prosedur tersebut bertujuan memudahkan pengambilan keputusan di tingkat strategis dan operasional dalam manajemen aset.

Penelitian ini bertujuan menganalisis biaya siklus hidup yang telah dilakukan di PT PJB. Melalui analisis tersebut diharapkan dapat merumuskan prosedur berupa *tracking* realisasi dan pengelolaan aset dengan menggunakan metode *rolling planning horizon*. *Rolling planning horizon* merupakan rentang

waktu pada model untuk proses yang tidak terbatas (Daellenbach & McNickle, 2005). *Rolling planning horizon* bertujuan sebagai kontrol dalam rangka mengikuti perubahan data yang terjadi. Kontrol tersebut bertujuan untuk mengintegrasikan antara analisis teknis dan finansial sehingga dapat memberikan keputusan yang tepat pada manajemen aset.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah analisis LCC aset untuk memperoleh biaya yang paling optimal selama umur pembangkit dengan merancang prosedur biaya siklus hidup di PT PJB Unit Pembangkit Gresik.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Melakukan perhitungan LCC aset selama umur ekonomis dan mengevaluasi biaya dengan adanya kebijakan pengelolaan aset di PT PJB Unit Pembangkit Gresik yang meliputi:
 - a. *Keep* (mempertahankan aset untuk tetap dipakai dengan pemeliharaan yang sudah dijalankan selama ini).
 - b. *Keep and improve* (mempertahankan aset untuk tetap dipakai tetapi dengan adanya pengembangan untuk pemeliharaan).
 - c. *Replace* (penggantian aset lama dengan aset baru)
2. Melakukan *what-if analysis* dengan mencoba beberapa pola/perilaku aset dan komponen biaya yang umum terjadi di pembangkit.
3. Merancang prosedur yang mengakomodasi berbagai perubahan pada pola/perilaku aset dan komponen biaya guna memberikan rekomendasi terbaik pada PT PJB Unit Pembangkit Gresik.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Perusahaan dapat memaksimalkan penggunaan aset selama umurnya.
2. Perusahaan mengetahui kebijakan yang tepat melalui penerapan prosedur yang mempertimbangkan kondisi riil yang umum terjadi di pembangkit.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup pada penelitian tugas akhir ini terdiri dari beberapa batasan dan asumsi, yakni sebagai berikut.

1.5.1 Batasan Penelitian

Batasan dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Penelitian ini dilakukan pada PLTU 3 PT PJB Unit Pembangkit Gresik.
2. Komponen biaya yang dipertimbangkan meliputi biaya *capital recovery*, biaya tetap O&M, biaya bahan bakar, dan biaya variabel O&M untuk pembangkit saja, tidak termasuk biaya *overhead cost* untuk kantor pusat dengan sudut pandang departemen *engineering*.
3. Depresiasi yang digunakan adalah *straight line*.
4. Fokus penelitian aset pada level peralatan yaitu *constant voltage* dan *generator transformer* karena memiliki pola perilaku yang mewakili banyak aset
5. Perhitungan biaya siklus hidup tidak memperhitungkan aspek pajak.

1.5.2 Asumsi Penelitian

Asumsi dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Data yang digunakan merupakan data historis pola biaya O&M serta biaya O&M *artificial* yang mempertimbangkan pola biaya yang terjadi di pembangkit. Biaya O&M akan dibangkitkan berdasarkan pola yang ada dengan mempertimbangkan hasil *benchmark* dari pembangkit lain, literatur (buku/laporan), dan wawancara.
2. Proyeksi umur pembangkit hingga tahun 2056 berdasarkan kesepakatan antara PT PJB dan PT PLN (Persero).
3. PT PJB Unit Pembangkit Gresik memiliki pemeliharaan dengan tingkat *excellence*.
4. MARR yang digunakan perusahaan sebesar 10%.
5. Produktivitas aset yang dibandingkan adalah sama.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan ini terdiri dari pendahuluan, tinjauan pustaka, metodologi penelitian, pengumpulan dan pengolahan data, analisis data, pembuatan prosedur serta kesimpulan dan saran. Penjelasan dari masing-masing bab akan dipaparkan sebagai berikut.

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini membahas mengenai latar belakang dilakukannya penelitian, permasalahan yang akan diselesaikan, tujuan, manfaat dan ruang lingkup dari penelitian yang meliputi batasan dan asumsi serta sistematika penulisan yang akan digunakan dalam penyusunan Tugas Akhir.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas mengenai literatur yang akan digunakan sebagai dasar dari penelitian. Literatur tersebut didapatkan dari berbagai sumber yang meliputi jurnal, buku, thesis, laporan tahunan perusahaan, *website*, dan *ebook*. Tinjauan Pustaka pada penelitian ini membahas mengenai jenis-jenis pemeliharaan, aset dan manajemen aset, LCCA, analisis penggantian, konsep revaluasi aset, komponen BPP listrik, dan *rolling planning horizon*.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini akan memaparkan mengenai langkah-langkah yang dilakukan penulis dalam melakukan penelitian yang digambarkan dalam diagram alir.

BAB 4 PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Bab ini akan membahas secara sistematis mengenai pengumpulan dan pengolahan data yang dilakukan oleh penulis yang terdiri perhitungan komponen EUAC, umur ekonomis, *marginal cost*, dan analisis penggantian pada *finite planning horizon*.

BAB 5 ANALISIS DATA

Bab ini akan membahas mengenai perumusan skenario pada perhitungan biaya dan *What-If Analysis* untuk mengetahui dampak perubahan faktor terhadap tujuan dari penelitian Tugas Akhir.

BAB 6 PERANCANGAN PROSEDUR

Bab ini menjelaskan mengenai pembuatan prosedur yang dirumuskan berdasarkan evaluasi dan analisis yang telah dilakukan pada bab sebelumnya.

BAB 7 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini akan memaparkan kesimpulan yang ditarik penulis berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan serta pemberian saran untuk memperbaiki dan mengembangkan penelitian selanjutnya.

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai tinjauan pustaka sebagai dasar teori peneliti dalam melakukan penelitian. Dasar teori yang digunakan dalam penelitian ini yaitu mengenai jenis pemeliharaan, aset dan manajemen aset, LCCA, analisis penggantian, konsep revaluasi aset tetap, komponen BPP listrik, serta *rolling planning horizon*.

2.1 Jenis Pemeliharaan

Pemeliharaan merupakan kegiatan yang diperlukan untuk mengembalikan kondisi peralatan atau mesin pada tingkat keandalan tertentu yang dapat dicapai. Pemeliharaan tidak hanya dilakukan ketika aset mengalami kerusakan, namun sepanjang siklus hidup selama aset tersebut digunakan. Aktivitas pemeliharaan bertujuan untuk menjaga peralatan agar tidak mengalami kegagalan pada saat proses produksi sedang berlangsung. Pemeliharaan yang dilakukan tidak dapat mengembalikan kondisi aset ke kondisi awal kecuali dilakukan penggantian pada aset tersebut. Strategi pemeliharaan memiliki berbagai macam jenis sesuai dengan kebutuhan dan kondisi pada aset tersebut. Strategi pemeliharaan secara umum terbagi menjadi dua yaitu *planned maintenance* dan *unplanned maintenance* (Corder, 1996). *Planned maintenance* merupakan jenis pemeliharaan terencana yang digolongkan lagi menjadi dua jenis yaitu *preventive maintenance* dan *predictive maintenance*. *Unplanned maintenance* merupakan jenis pemeliharaan yang dilakukan setelah adanya kerusakan yang ditemukan pada aset. Jenis strategi yang tergolong dalam *unplanned maintenance* adalah *corrective maintenance*. Penjelasan masing-masing strategi pemeliharaan tersebut akan dijelaskan sebagai berikut.

1. Corrective Maintenance

Corrective maintenance merupakan tindakan perbaikan yang dilakukan karena adanya kegagalan yang ditemukan selama *preventive maintenance* (Dhillon, 2010). Pemeliharaan ini bersifat reaktif dan harus menunggu hingga

terjadinya kerusakan. Perbaikan dilakukan setelah terjadi kerusakan untuk mengembalikan peralatan atau mesin ke tingkat keandalan tertentu.

2. *Preventive Maintenance*

Preventive maintenance merupakan tindakan perbaikan komponen yang berbeda dengan *corrective strategy*, karena pemeliharaan dilakukan sebelum komponen atau peralatan mengalami kegagalan. Tujuan dari *preventive strategy* adalah untuk mencegah terjadinya kerusakan secara tiba-tiba yang dapat menimbulkan biaya yang lebih besar akibat terjadinya *breakdown*. Kelebihan dari strategi ini adalah dapat meningkatkan *equipment life* serta mengurangi terjadinya kegagalan pada aset dan biaya pemeliharaan.

3. *Predictive Maintenance*

Predictive maintenance merupakan tindakan perbaikan berupa pendeteksian perubahan kondisi fisik sebagai tanda kerusakan untuk kemudian segera dilakukan perbaikan. Proses deteksi tanda kerusakan dapat dilakukan dengan berdasar pada kondisi atau statistik aset.

Selain ketiga strategi di atas, masih terdapat jenis pemeliharaan yang lain seperti RCM. RCM adalah salah satu metode untuk meningkatkan keandalan dari aset fisik dengan berfokus pada desain sistem keandalan dengan kondisi dan lingkungan pada operasi tertentu (Jardine & Tsang, 2013). RCM bertujuan untuk menentukan strategi yang dapat dilakukan untuk menjamin agar aset yang dimiliki dapat berfungsi dalam konteks operasionalnya (Moubray, 1997).

2.2 Aset dan Manajemen Aset

Aset merupakan sumber daya yang dikuasai oleh entitas sebagai akibat dari peristiwa masa lalu dan diharapkan memberikan keuntungan atau manfaat ekonomi di masa depan (Martani, 2012). Klasifikasi aset dibagi menjadi *convertability*, keberadaan fisik, dan cara penggunaan (Corporate Finance Institute, n.d.). *Convertability* merupakan kemudahan bagi suatu aset untuk ditukarkan menjadi uang tunai, yang terbagi menjadi aset lancar dan aset tidak lancar. Aset lancar merupakan sumber daya jangka pendek yang dikonversikan sebagai kas dalam waktu satu tahun seperti obligasi dan piutang dagang. Aset tidak lancar

merupakan aset yang tidak mudah dikonversikan menjadi uang tunai seperti tanah, bangunan, dan mesin.

Berdasarkan keberadaan fisiknya, aset terbagi menjadi dua yaitu *tangible asset* dan *intangible asset*. *Tangible asset* merupakan aset berwujud tetap seperti tanah, properti, bangunan, dan mesin. *Intangible asset* merupakan aset yang tidak memiliki wujud fisik serta tidak dimiliki untuk digunakan dalam menghasilkan barang atau jasa, disewakan kepada pihak lain maupun untuk tujuan administratif. Aset yang termasuk ke dalam jenis *intangible asset* adalah hak cipta, hak sewa/kontrak, hak monopoli, dan hak paten.

Selain digolongkan berdasarkan keberadaan fisiknya, aset juga digolongkan berdasarkan penggunaannya. Berdasarkan penggunaannya, aset dibagi menjadi aset operasi dan non operasi. Aset operasi merupakan aset yang dapat digunakan untuk kebutuhan sehari-hari, sebaliknya aset non operasi merupakan aset yang tidak digunakan untuk keseharian seperti surat berharga, bunga deposito, dan investasi.

Aset yang dimiliki harus dikelola sedemikian rupa melalui manajemen aset untuk memaksimalkan penggunaan aset. Manajemen aset merupakan sebuah *framework* yang melihat aset fisik sebagai objek dan sistem yang merespon perubahan lingkungan dengan kondisi yang akan berubah seiring dengan penggunaannya. Manajemen aset berfungsi sebagai koordinasi aktivitas untuk mewujudkan nilai dari aset. Manajemen aset melibatkan biaya, peluang, dan risiko terhadap kinerja aset yang diinginkan untuk mencapai tujuan organisasi (Galar et al., 2017). Manajemen aset mencakup desain, pengadaan, instalasi, operasi, dan pemeliharaan (Davis, 2014). Jenis aset yang dibahas dalam manajemen aset adalah *physical asset* seperti bangunan, infrastruktur, dan pembangkit listrik.

Manajemen aset penting untuk dilakukan karena dapat membantu organisasi dalam mengurangi total biaya operasional dan *capital cost* dari investasi aset, meningkatkan performansi operasi aset, mengurangi dampak kesehatan dan lingkungan yang diakibatkan karena mengoperasikan aset, mengurangi resiko keselamatan, serta meningkatkan reputasi dan performansi regulatori dari organisasi pemilik aset (Davis, 2014). Pengembangan strategi manajemen aset merupakan kunci dalam mengelola aset selama siklus hidup aset (dari fase akuisisi hingga

disposal). Sejumlah langkah harus dilakukan untuk menghindari adanya kesalahan dalam pengambilan keputusan sehingga menyebabkan kinerja aset kurang optimal dan menimbulkan kerugian dalam bentuk biaya.

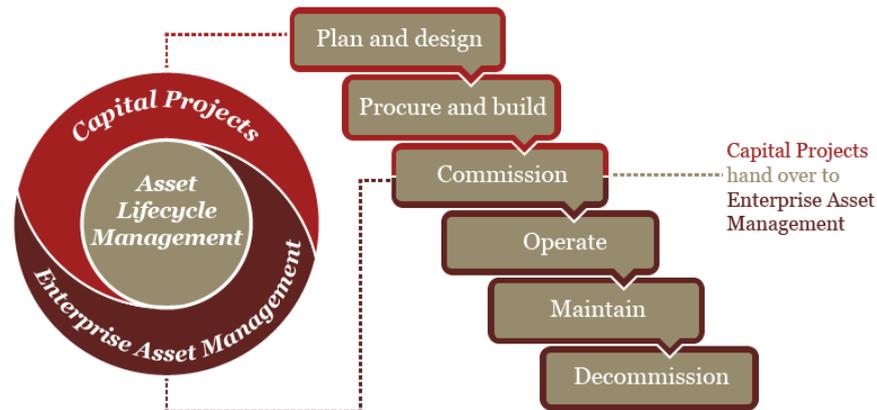
Pendekatan total siklus hidup aset pada manajemen aset (TLAM) merupakan salah satu pengembangan strategi manajemen aset yang memungkinkan meninjau masalah pada aset di berbagai tahap kehidupannya. Pendekatan ini berguna untuk dapat merampingkan efisiensi dan menghemat biaya selama siklus hidup. Setiap fase dalam TLAM memiliki hubungan dengan manajemen keuangan. Misalnya pemeliharaan yang dapat menjadi kontributor besar terhadap TCO. Total siklus hidup aset digambarkan seperti Gambar 2.1 di bawah ini.



Gambar 2. 1 *Total Lifecycle Asset Management* (Campbell et al., 2011)

Gambar 2.1 merupakan gambar total siklus hidup aset yang terdiri dari delapan fase. Berdasarkan Gambar 2.1, empat fase dalam siklus hidup aset yaitu fase *strategy*, *planning*, *evaluate/design*, *create/procure*, *operate*, *maintain*, *modify*, dan *dispose*. *Strategy* merupakan fase mendapatkan pemahaman mengenai peran aset dan nilai yang diberikan kepada organisasi. Fase *planning* merupakan cara untuk mengintegrasikan aset ke dalam rencana bisnis. Fase *evaluate/design* merupakan fase penilaian kinerja atau desain produk. Fase *create/procure* membandingkan persyaratan pembelian aset dengan persyaratan kapasitas aset. Fase *operate* mencakup semua proses yang diperlukan untuk menjaga agar aset tetap beroperasi yang diimbangi dengan melakukan pemeliharaan dan perbaikan. Fase *maintain* mencakup setiap proses yang diperlukan untuk mempertahankan

aset. Fase *modify* merupakan fase mendukung penggunaan aset kembali secara efektif. Fase *dispose* terjadi apabila aset sudah tidak lagi digunakan. Kegiatan utama dari fase *dispose* adalah penghapusan aset dari operasi, pembuangan aset, maupun perencanaan untuk dilakukan penggantian aset (jika dilakukan penggantian). Selain itu, siklus hidup aset dapat juga ditunjukkan seperti Gambar 2.2 di bawah ini.



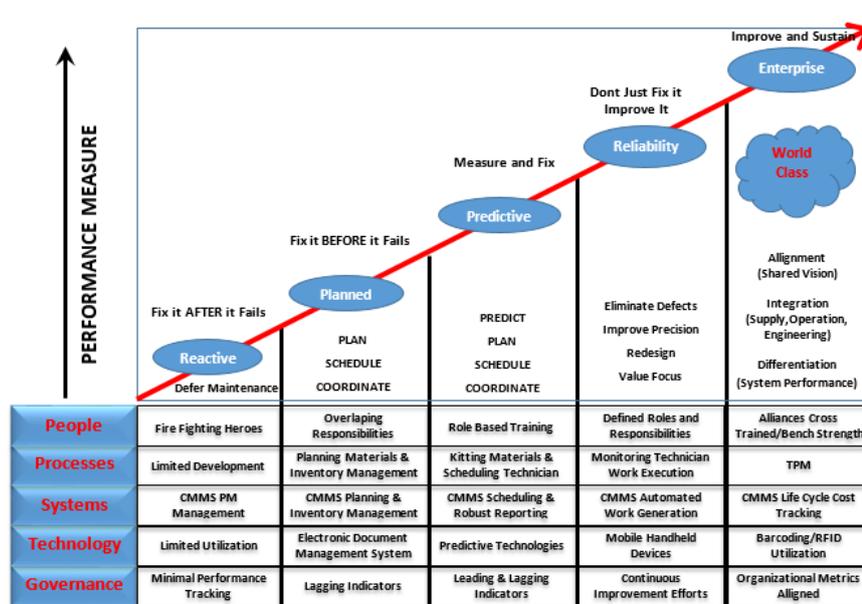
Gambar 2. 2 *Asset Life Cycle Management* (PWC Canada, 2020)

Gambar 2.2 merupakan ilustrasi *asset life cycle management* yang terdiri dari beberapa fase. Pada *framework* tersebut periode perencanaan hingga *commission* akan ditangani oleh *capital project* sedangkan sisa siklus hidup tersebut akan ditangani oleh *Enterprise Asset Management* (EAM).

EAM adalah proses mengelola siklus hidup aset fisik dan peralatan untuk memaksimalkan masa pakai, mengurangi biaya, meningkatkan kualitas dan efisiensi, serta kesehatan lingkungan. Sistem EAM diimplementasikan untuk merencanakan, mengoptimalkan, melaksanakan, dan melacak kegiatan pemeliharaan yang terkait dengan tenaga kerja, alat, informasi, dan lain sebagainya. EAM merupakan sistem yang menyerupai *Computerized Maintenance Management System* (CMMS). CMMS mulai melacak aset saat sudah dibeli dan dipasang, sedangkan pada EAM akan melacak seluruh siklus hidup aset.

EAM memiliki beberapa elemen seperti *people, processes, system, teknologi, dan governance* yang interaktif dan saling tergantung (GenesisSolutions, 2013). Dari kelima elemen tersebut, dikembangkan sebuah alat untuk mengukur kelima elemen yang disebut dengan *EAM Maturity Continuum*. Sebagai proses dari

lean Define, Measure, Analyze, Improve, and Control (DMAIC), EAM Maturity Continuum mendefinisikan berbagai tingkat keunggulan menuju implementasi terbaik dari EAM yaitu *enterprise level*. Gambar 2.3 menunjukkan *EAM Maturity Continuum* yang memiliki lima tingkat keunggulan.

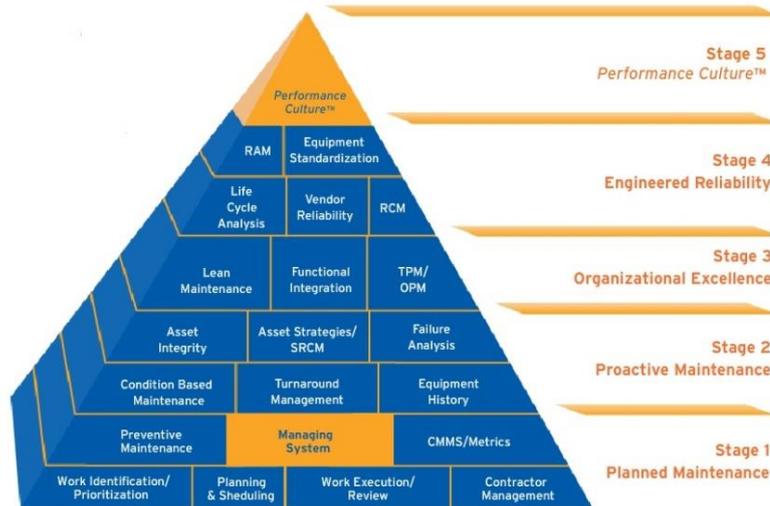


Gambar 2. 3 *EAM Maturity Continuum* (GenesisSolutions, 2013)

Pada tingkat keunggulan pertama (*reactive*), aset diperbaiki setelah timbul kerusakan. Pada tingkat kedua (*planned*), dilakukan perencanaan sehingga aset diperbaiki untuk mencegah terjadinya kerusakan. Tingkat ketiga (*predictive*) dilakukan dengan melakukan prediksi terjadinya kerusakan. Dalam rangka mencapai tingkat keunggulan tertinggi beberapa metode dilakukan pada kelima elemen, seperti metode *Total Productive Maintenance* (TPM) pada elemen *processes*, *barcoding/RFID utilization* pada elemen *teknologi*, dan CMMS LCC *tracking* pada elemen sistem.

Manajemen aset juga berfokus pada pengembangan strategi untuk mencapai tujuan organisasi. Pengembangan strategi tersebut dapat dilakukan dengan konsep *Strategic Asset Management* (SAM) yang merupakan integrasi dari serangkaian proses yang secara sistematis menghasilkan nilai tertinggi dari aset. Nilai tertinggi ini disebut dengan *the performance culture* yang merupakan integrasi dari pengukuran *key performance indicator* (KPI), *economic benefits*, dan

behaviours dari orang-orang yang terlibat (SamiCorp, n.d.). Model piramida SAMI dibuat sebagai solusi komprehensif dalam industri untuk mencapai pengelolaan aset yang lebih baik dan mencapai *the performance culture*. Model piramida SAMI ditunjukkan pada Gambar 2.4 di bawah ini.



Gambar 2. 4 SAMI Asset Model (SamiCorp, n.d.)

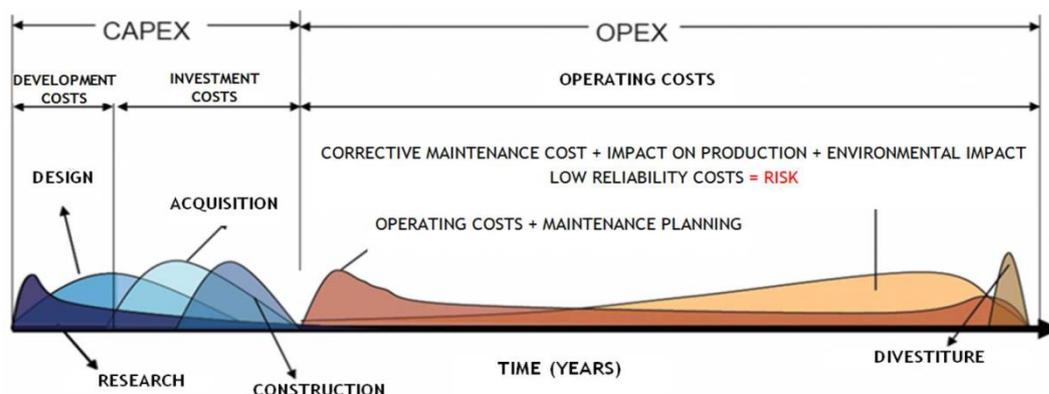
SAMI *asset model* yang terdiri dari lima *stage*, di mana untuk mencapai *stage 5 (performance culture)* terlebih dahulu melewati beberapa tahapan piramida di bawahnya. Sebagai contoh ketika melakukan *life cycle analysis* (LCA) maka terlebih dahulu harus dilakukan tahapan *lean maintenance*, *functional integration*, dan TPM. Tahapan yang dilakukan ketika melakukan RAM adalah LCA, *vendor reliability*, dan RCM. LCA dan RCM merupakan metode yang dapat membantu mewujudkan *performance culture* dari sebuah organisasi.

2.3 Life Cycle Cost Analysis (LCCA)

LCCA adalah alat yang dirancang untuk mengevaluasi konsekuensi ekonomi dari suatu barang, sistem, maupun fasilitas selama masa pakainya dan digunakan untuk membandingkan berbagai opsi yang ada (Dell'Isola & Kirk, 2003). LCCA merupakan metode yang efektif dalam perencanaan jangka panjang untuk dapat mengoptimalkan adanya biaya kehilangan yang tidak direncanakan (Sliter, 2003). LCC merupakan penjumlahan dari biaya langsung, tidak langsung, dan berulang yang terdapat pada tahap perancangan, pengembangan dan riset, investasi,

operasi, pemeliharaan, serta tahapan lain yang mendukung selama siklus hidup (Farr & Faber, 2019).

Implementasi LCCA banyak digunakan pada beberapa sektor industri dikarenakan beberapa alasan seperti adanya peningkatan biaya operasional dan pemeliharaan, keterbatasan anggaran, serta adanya peningkatan inflasi dan efektifitas biaya dalam penggunaan produk peralatan dan sistem (Dhillon, 2010). Implementasi LCCA juga diterapkan dalam banyak siklus hidup peralatan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5 merupakan *life cycle phase* yang menggambarkan fase implementasi LCCA dalam siklus hidup aset.



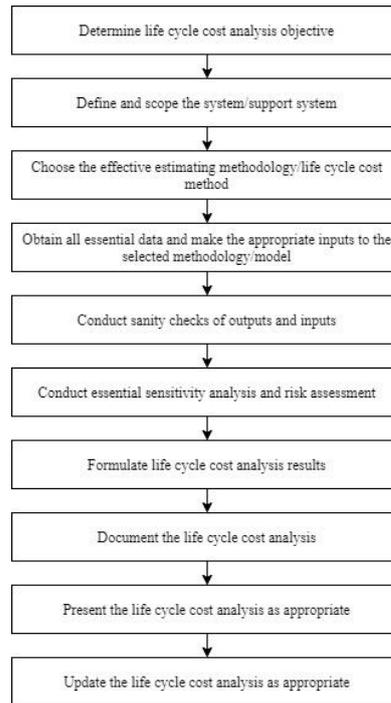
Gambar 2. 5 *Life Cycle Phase* (Marquez et al., 2009)

Perhitungan siklus hidup aset merupakan metodologi yang memperhitungkan semua biaya yang timbul selama siklus hidup aset. Biaya-biaya ini dapat diklasifikasikan sebagai *capital expenditure* (CAPEX) yang terjadi ketika aset dibeli dan *operating expense* (OPEX) yang dikeluarkan sepanjang umur aset. LCCA adalah metode yang dapat digunakan untuk menghitung siklus hidup aset dan mengevaluasi alternatif pada aset (Blanchard, 2001).

Konsep biaya yang melekat pada aset pada Gambar 2.5 terbagi menjadi biaya pengembangan (desain dan riset), biaya investasi (akuisisi) serta biaya operasi dan pemeliharaan. Pada fase akuisisi membutuhkan perhitungan LCC untuk menentukan keputusan akuisisi. Pada fase operasi dan pemeliharaan membutuhkan perhitungan LCC untuk melacak realisasi dan memperbarui hasil analisis dari fase sebelumnya. Selain itu, data operasi dan pemeliharaan yang telah diambil akan dijadikan dasar dalam pengambilan keputusan akuisisi di masa depan. Komponen

biaya yang terdapat pada LCC dapat bervariasi sesuai dengan karakteristik yang ada pada aset. Oleh karena itu, penetapan LCC sangat sensitif terhadap kualitas dan kuantitas data yang diberikan oleh *user*.

Terdapat sepuluh tahap dalam LCC yang digambarkan sebagai model konseptual seperti ditunjukkan pada Gambar 2.6 berikut ini (Dhillon, 2010).



Gambar 2. 6 LCC *Process* (Dhillon, 2010)

Berdasarkan Gambar 2.6, langkah pertama adalah menentukan tujuan serta mengidentifikasi permasalahan yang akan dianalisis. Langkah kedua adalah menentukan cakupan sistem yang akan dianalisis. Penentuan metode LCC yang digunakan didasarkan pada jenis industri dan aset yang dianalisis. Metode tersebut akan dikembangkan untuk mengetahui jenis data masukan yang diperlukan. Tahapan selanjutnya adalah melakukan analisis sensitivitas yang bertujuan untuk mengetahui dampak faktor yang memiliki kontribusi tinggi terhadap perhitungan LCC. Langkah terakhir adalah melakukan pembaharuan LCC secara berkala untuk mengantisipasi adanya komponen biaya yang mengalami perubahan.

2.4 Analisis Penggantian

Setiap peralatan atau aset yang digunakan memiliki usia dan masa pakai yang terbatas sehingga ketika peralatan atau aset tersebut habis masa pakainya maka harus diganti dengan peralatan serupa. Keputusan penggantian tidak hanya dilakukan berdasarkan faktor teknis saja melainkan juga mempertimbangkan perhitungan ekonomis. Perhitungan ekonomis yang dilakukan akan menentukan keputusan penggantian peralatan akan dilakukan pada waktu ke t atau menunda dengan melakukan perbaikan. Terdapat beberapa alasan dilakukannya analisis penggantian yaitu *physical impairment (deterioration)*, *altered requirement*, dan teknologi (Sullivan et al., 2015).

Beberapa konsep dasar yang harus dipahami dalam melakukan analisis penggantian, yakni konsep *defender* dan *challenger*, konsep *sunk cost*, sudut pandang dari luar sistem, dan umur ekonomis suatu peralatan (Thuesen & Fabrycky, 2001).

2.4.1 Defender dan Challenger

Istilah *defender* digunakan sebagai aset yang dipertimbangkan untuk diganti. *Challenger* merupakan kandidat aset yang diusulkan untuk mengganti *defender*. *Challenger* dalam segi biaya akan selalu memiliki biaya investasi yang tinggi dengan biaya operasional dan perawatan yang lebih rendah. *Defender* cenderung memiliki biaya operasional dan perawatan yang lebih tinggi karena penurunan keandalan. Nilai awal dari *challenger* dihitung dari semua biaya yang diperlukan agar aset tersebut dapat beroperasi sedangkan nilai awal *defender* merupakan nilai jual aset saat tahun ke t .

2.4.1.1 Optimal Defender

Dalam beberapa kasus analisis penggantian, penggantian *defender* menjadi pertimbangan karena menyebabkan peningkatan biaya setiap tahunnya.

1. Umur Ekonomis *Defender*

Analisis penggantian dilakukan dengan mempertimbangkan biaya yang dibutuhkan untuk mempertahankan *defender*. *Defender* yang dipertahankan

dapat menimbulkan biaya yang semakin besar setiap tahun akibat peningkatan pemeliharaan. Pendekatan yang dilakukan untuk menghitung biaya tambahan dari *defender* disebut dengan *marginal cost* (MC_t).

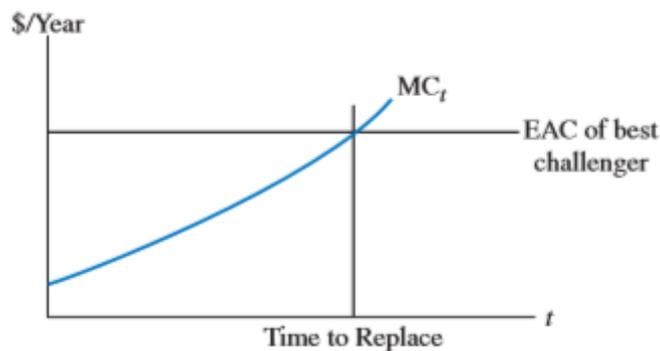
Metode *marginal cost* dalam studi kebijakan pemeliharaan merupakan biaya tambahan yang disebabkan oleh penangguhan penggantian aset untuk periode waktu tambahan (Berg, 1980). *Marginal cost* terdiri dari nilai sisa serta biaya operasi dan pemeliharaan. Nilai sisa tersebut dihitung dengan melakukan pengurangan antara nilai sisa dan ongkos jual aset. *Marginal cost* dihitung sebagai biaya akhir tahun sehingga dapat dibandingkan dengan EUAC *Challenger*.

Penggantian aset akan dilakukan apabila *marginal cost* melebihi biaya rata-rata minimum EUAC pada *challenger*. *Marginal cost* untuk mempertahankan aset hingga tahun ke- t dapat dihitung dengan dua jenis persamaan sebagai berikut.

$$MC_t = S_t - 1(1 + i) \times S_t + O\&M_t \quad (2.7)$$

$$MC_t = S_t - 1 - S_t + i \times S_t + O\&M_t \quad (2.8)$$

Perhitungan *marginal cost* tersebut akan dijadikan dasar dalam mengambil keputusan penggantian aset. Gambar 2.7 menjelaskan mengenai grafik perbandingan antara *marginal cost* dan EUAC *challenger* dalam menentukan waktu yang tepat untuk penggantian aset.



Gambar 2. 7 Grafik Perbandingan *Marginal Cost Defender* dan EUAC *Challenger* (Eschenbach, 2011)

Berdasarkan Gambar 2.7, didapatkan bahwa penggantian aset dilakukan apabila MC_t *defender* lebih besar daripada EUAC *challenger*. Apabila MC_t

defender kurang dari EAC *challenger* pada tahun ke- t maka aset tersebut dipertahankan sampai tahun ke- t dan dilakukan perhitungan untuk tahun berikutnya.

2. Asumsi yang Tidak Tepat untuk Meminimumkan Nilai *Defender*

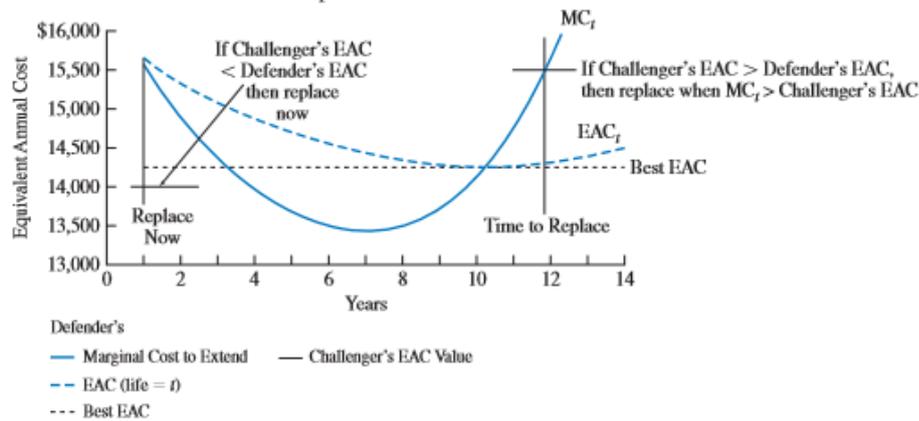
EUAC pada *defender* tidak dapat dihitung apabila memenuhi asumsi bahwa aset bekas yang serupa dengan *defender* tersedia untuk dibeli dan biaya instalasi pada aset bekas yang akan digunakan sebagai *challenger* sesuai dengan nilai sisa pada *defender*. Asumsi yang benar adalah sebagai berikut.

- a. Peralatan bekas dengan umur dan kondisi yang sama seringkali tidak tersedia.
- b. Ketika tersedia harus dipastikan bahwa aset bekas yang akan dibeli memiliki nilai yang berbeda dengan peralatan bekas yang akan dijual.
- c. Asumsi tersebut menyiratkan bahwa biaya yang digunakan pada aset bekas harus ditentukan dan dianalisis sebagai *new challenger*.

3. Penentuan Waktu untuk Menghitung EUAC *Defender*

Seringkali ketika dilakukan perhitungan umur ekonomis, umur saat ini pada *defender* berada dekat dengan umur ekonomisnya sehingga *marginal cost* meningkat seiring dengan waktu. Namun terdapat beberapa kasus yang menunjukkan *defender* adalah aset yang baru dan *marginal cost* mengalami penurunan. Hal tersebut dapat terjadi karena, *altered requirement*, adanya *challenger* baru, dan pemilihan yang buruk pada aset.

Apabila *marginal cost* mengalami penurunan maka EUAC *defender* harus dihitung. Ketika dibandingkan dengan EAC *challenger* dan didapatkan bahwa EAC *challenger* kurang dari EAC *defender* maka dilakukan penggantian. Sebaliknya, apabila EAC *challenger* lebih besar daripada *defender* maka *defender* harus dipertahankan. Jika mengasumsikan bawa *current* dan *future challenger* memiliki nilai EUAC yang sama dan data dari *defender* adalah akurat, maka *defender* harus diganti setelah *marginal cost* pada *defender* lebih besar dari EUAC *challenger*. Gambar 2.8 menunjukkan grafik mengenai waktu yang tepat dalam melakukan penggantian.



Gambar 2. 8 Grafik Waktu untuk Melakukan Penggantian Berdasarkan EAC
Defender (Eschenbach, 2011)

2.4.2 Sunk Cost

Sunk cost merupakan biaya masa lalu yang tidak terpengaruh oleh keputusan investasi masa depan (Park, 2012). *Sunk cost* didefinisikan sebagai pengurangan antara *book value* dan *market value* pada titik waktu tertentu. *Book value* merupakan nilai awal dari aset yang sudah dikurangi dengan total nilai depresiasi yang telah terjadi. *Sunk cost* tidak memiliki relevansi dengan keputusan penggantian yang harus dibuat (kecuali jika keputusan tersebut memengaruhi pajak penghasilan) (Sullivan et al., 2015). Hal tersebut dikarenakan analisis penggantian aset hanya melibatkan arus kas sekarang dan masa depan.

2.4.3 Sudut Pandang dari Luar Sistem

Pendekatan dengan sudut pandang pihak luar diperlukan karena dianggap objektif dalam membandingkan performansi ekonomi antara aset yang dimiliki (*defender*) dan alternatif pembandingnya (*challenger*). Pihak ketiga bebas menentukan pilihan karena seolah-olah tidak memiliki aset tersebut. Sudut pandang dari luar sistem akan menganggap bahwa nilai sisa (nilai jual) dari suatu aset merupakan biaya investasi dari *defender*.

2.4.4 Asumsi Analisis Penggantian

Terdapat beberapa faktor yang perlu diperhatikan dalam analisis penggantian, seperti periode studi (*planning horizon*), adanya perubahan teknologi,

dan tersedianya informasi aliran kas yang relevan. Adanya perbedaan pada *planning horizon* yang digunakan dapat menghasilkan keputusan penggantian yang berbeda (Thuesen & Fabrycky, 2001). Oleh karena itu, diperlukan asumsi dan metode yang berbeda pada masing-masing jenis kasus dalam analisis penggantian. Menurut Newnan (2012), asumsi-asumsi pada analisis penggantian, yaitu:

1. *Replacement Analysis Technique (RAT) 1: Informasi Marginal cost defender Tersedia dan Mengalami Kenaikan.*

Replacement analysis technique 1 hanya dapat digunakan ketika terdapat kenaikan *marginal cost* dari *defender*. *Defender* dipertahankan hingga *marginal cost* apabila bernilai lebih besar daripada EUAC dari *challenger*. Ketika *marginal cost defender* lebih besar daripada nilai minimum *challenger* maka dilakukan penggantian antara *defender* dengan *challenger*. Pada teknik ini mengasumsikan bahwa *challenger* yang digunakan selalu tersedia dan tidak mengalami perubahan di masa depan.

2. *Replacement Repeatability Assumptions*

Asumsi ini menggunakan metode biaya tahunan untuk membandingkan alternatif dengan mengasumsikan bahwa penggantian dilakukan dengan alternatif yang identik dengan masa manfaat yang berbeda. *Replacement repeatability assumptions* terdiri dari dua asumsi sebagai berikut.

1. *Challenger* yang tersedia saat ini selalu tersedia di masa yang akan datang dan tidak mengalami perubahan dalam hal biaya. *Defender* diganti dengan *challenger* yang sama pada tahun-tahun berikutnya.
2. Periode yang digunakan adalah panjang dan tanpa batas.

Asumsi ini tidak dapat digunakan apabila *planning horizon* yang digunakan bersifat terbatas dan *future challenger* diasumsikan tidak identik dengan *challenger* saat ini. Apabila *repeatability assumption* tidak dapat digunakan maka dibutuhkan analisis yang lebih kompleks dalam analisis penggantian

3. *Replacement Analysis Technique (RAT) 2: Informasi Marginal cost Tersedia dan Tidak Mengalami Peningkatan.*

Ketika *marginal cost* tidak mengalami kenaikan yang konsisten seperti pada tahap awal, maka digunakan *replacement analysis technique 2*. Pada asumsi ini terjadi beberapa kondisi sebagai berikut.

1. Jika *marginal cost defender* tidak mengalami peningkatan secara konsisten, maka nilai minimum EUAC pada *defender* harus dihitung.
 2. Jika biaya minimum EUAC pada *defender* melebihi EUAC minimum pada *challenger* maka segera dilakukan penggantian. Jika yang terjadi adalah sebaliknya maka sesuai dengan asumsi *repeatability* bahwa *defender* akan dipertahankan sampai dengan tahun pada saat EUAC mencapai minimum.
 3. Setelah tahun tersebut, penggantian akan dilakukan ketika kenaikan *marginal cost* pada *defender* melebihi biaya minimum EUAC pada *challenger*.
4. *Replacement Analysis Technique (RAT) 3: Ketika Marginal Cost dari Defender Tidak Tersedia.*

Ketika informasi *marginal cost* dari *defender* tidak tersedia maka tidak memungkinkan untuk menggunakan asumsi RAT 1 dan 2 untuk menentukan waktu penggantian pada *defender*. Jenis kasus ini diselesaikan dengan mengasumsikan bahwa masa manfaat dari *defender* adalah satu-satunya yang dapat dipertimbangkan dan keputusan dipilih berdasarkan EUAC yang memiliki nilai terkecil.

Sedangkan menurut Park (2006), asumsi-asumsi pada analisis penggantian terdiri dari beberapa asumsi sebagai berikut.

1. Analisis Penggantian dengan *Infinite Planning Horizon*

Terdapat dua opsi analisis penggantian pada *infinite planning horizon* yaitu melakukan penggantian *defender* saat ini atau melakukan penggantian *defender* pada tahun ke- x . Apabila EUAC *defender* lebih besar daripada EUAC *challenger*, maka keputusan yang dipilih adalah dilakukan penggantian aset. Namun apabila EUAC *defender* lebih kecil dari pada EUAC *Challenger* maka *defender* dipertahankan. Penentuan waktu yang tepat pada penggantian *defender* dilakukan melalui perhitungan *marginal cost* yang merupakan biaya tambahan

ketika mempertahankan aset. Jika *marginal cost* yang telah dihitung memiliki nilai yang lebih besar daripada EUAC *challenger* maka penggantian dilakukan pada akhir umur ekonomis aset.

2. Analisis penggantian dengan *finite planning horizon*

Pada *finite planning horizon*, perbandingan berdasarkan metode EUAC pada umur ekonomis tidak lagi digunakan melainkan menggunakan umur ekonomis sebagai dasar dalam menentukan kombinasi yang masuk akal. Kemudian nilai *present worth* digunakan untuk memilih kombinasi yang paling menghasilkan biaya terkecil.

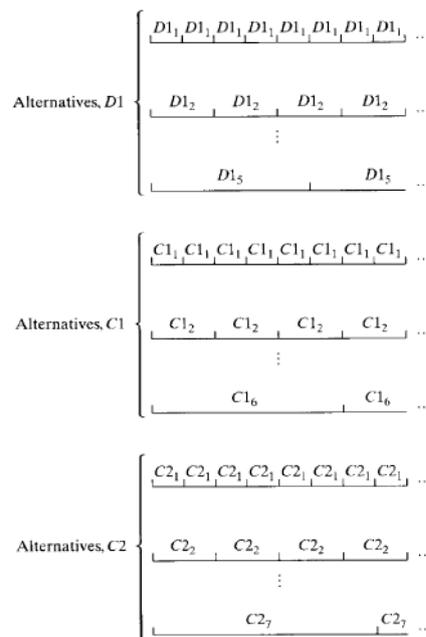
3. Adanya Perubahan Teknologi

Perubahan teknologi harus dievaluasi dalam membuat rencana penggantian jangka panjang. Apabila *challenger* memiliki potensi dalam peningkatan teknologi yang cepat dan substansial, keputusan menunda penggantian akan lebih tepat (selama tingkat kerugian dalam produksi tidak melebihi penghematan untuk mendapatkan *challenger* yang lebih baik) hingga *challenger* yang lebih baik tersedia. Selain itu, keputusan menunda akan lebih baik apabila biaya yang dibutuhkan sangat tinggi dan biaya minimum *challenger* diperuntukkan untuk waktu yang lama (5-10 tahun atau lebih). Meskipun terdapat kesulitan dalam menentukan dan mengestimasi *future challenger* tetapi faktor ini perlu dipertimbangkan dalam perhitungan biaya minimum *defender* dan *challenger*.

Menurut Thuesen (2001), analisis penggantian memiliki beberapa asumsi sebagai berikut.

1. Penggantian Dilakukan dengan Alternatif yang Identik

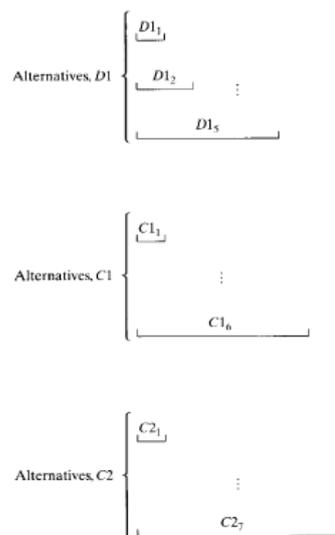
Asumsi ini menganggap penggantian dilakukan dengan mengganti *current alternatif* dengan serangkaian aset yang identik dengan alternatif tersebut. Gambar 2.9 menunjukkan ilustrasi penggantian dengan aset yang identik.



Gambar 2. 9 Alternatif Identik pada Analisis Penggantian
(Thuesen & Fabrycky, 2001)

2. Informasi *Current Alternative* Tidak Tersedia

Asumsi ini terjadi ketika *defender* atau *challenger* sedang dibandingkan dan tidak terdapat informasi yang memungkinkan untuk dilakukannya penggantian. Pada asumsi ini, *planning horizon* dipilih dari umur aset yang memiliki umur terpendek. Gambar 2.10 mengilustrasikan apabila penggantian hanya dilakukan satu kali.



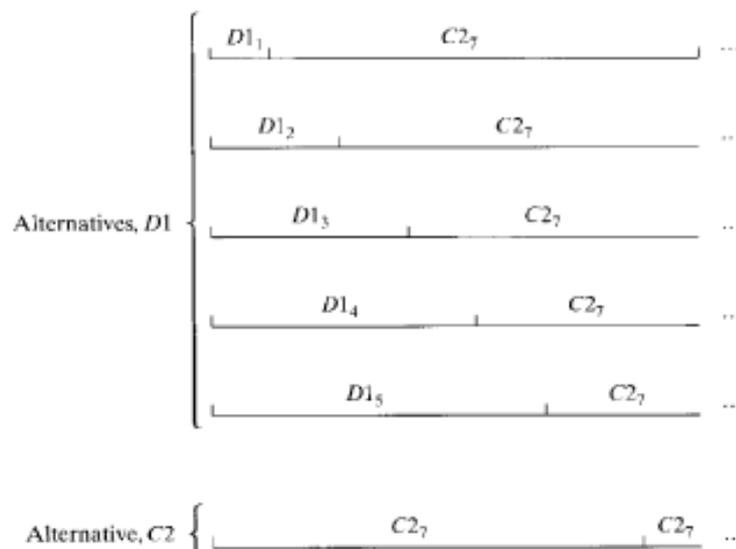
Gambar 2. 10 Informasi *Current Alternative* Tidak Tersedia
(Thuesen & Fabrycky, 2001)

3. Mengasumsikan penggantian alternatif dengan *best challenger*

Asumsi ini mempertimbangkan alternatif dari *challenger terbaik* dari semua *challenger* yang tersedia. *Challenger* terbaik dipilih berdasarkan nilai biaya ekuivalen terkecil. Pada asumsi ini, terdapat dua kondisi sebagai berikut.

1. Kondisi 1

Kondisi ini terjadi apabila semua biaya ekuivalen dari *defender* lebih besar daripada biaya ekuivalen dari *challenger* terbaik. Keputusan dipilih berdasarkan alternatif yang memiliki biaya terkecil. Alternatif keputusan pada asumsi tiga ditunjukkan seperti Gambar 2.11 berikut ini.



Gambar 2. 11 Alternatif ketika penggantian berdasarkan *challenger* terbaik
(Thuesen & Fabrycky, 2001)

2. Kondisi 2

Kondisi dua terjadi apabila terdapat lebih dari satu biaya ekuivalen dari *defender* yang kurang dari biaya ekuivalen *best challenger*. Keputusan penggantian didasarkan pada perhitungan *present worth* pada *defender* dan *challenger*. Apabila umur maksimum dari *defender* melebihi umur dari *challenger* terbaik maka dipilih umur yang terpanjang sebagai dasar *planning horizon*.

4. Mengasumsikan penggantian alternatif dengan *dissimilar challenger*

Asumsi ini tidak terlalu membatasi seperti beberapa asumsi sebelumnya. *Future challenger* dianggap berbeda dengan aset saat ini karena berkembangnya teknologi. Selain itu, faktor inflasi dan pengaruh finansial lain

dapat mengubah aliran kas dan rencana akuisisi. Pada asumsi ini memungkinkan adanya banyak kombinasi dalam penggantian aset. Pengambilan keputusan didasarkan melalui kombinasi alternatif yang dapat meminimumkan biaya.

2.4.5 Umur Ekonomis Aset

Perhitungan umur ekonomis suatu aset digunakan sebagai pertimbangan dalam kebijakan penggantian aset. Umur ekonomis dapat didefinisikan dalam banyak hal. Pada *challenger*, umur ekonomis menghasilkan nilai minimum EUAC. Pada *defender*, umur ekonomis dapat diperpanjang hingga *marginal cost* melebihi nilai minimum EUAC untuk *challenger*. Umur ekonomis adalah titik waktu di mana peralatan memiliki total biaya ekuivalen tahunan yang minimum (Eschenbach, 2011). Total biaya ekuivalen tahunan ini dibagi menjadi dua kategori, yakni *capital cost* dan *operating cost* (Park, 2012).

Capital cost memiliki dua komponen utama yaitu nilai investasi awal dan nilai sisa pada saat aset dilepaskan. Nilai investasi awal pada *challenger* dapat dianggap sebagai harga beli. *Opportunity cost* pada *defender* dapat dianggap sebagai nilai investasi awal. Perhitungan biaya ekuivalen tahunan dari *capital cost* dapat dihitung seperti Persamaan 2.9 berikut ini.

$$CR(i) = I(A/P, i, N) - S_N(A/F, i, N) \quad (2.9)$$

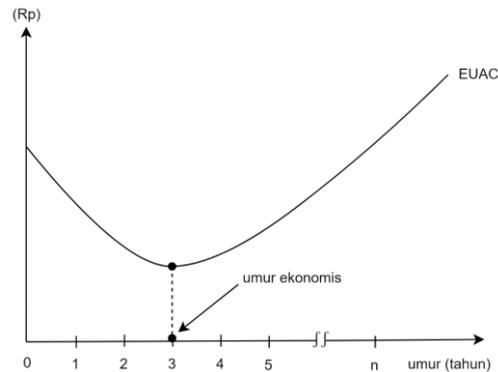
Biaya *operating cost* dari sebuah aset terdiri dari biaya operasional dan pemeliharaan, biaya tenaga kerja, biaya material, dan biaya energi. Biaya tenaga kerja, biaya material dan biaya energi seringkali dianggap konstan untuk jenis peralatan yang sama dari tahun ke tahun. Biaya operasional dan pemeliharaan cenderung meningkat sesuai dengan waktu pemakaian dari aset tersebut sehingga menyebabkan total *operating cost* dari suatu aset biasanya meningkat sesuai dengan umur aset tersebut. Perhitungan biaya ekuivalen tahunan dari *operating costs* selama rentang hidup t tahun dirumuskan seperti Persamaan 2.10.

$$OC(i) = (\sum_{n=1}^N OC_N(P/F, i, N))(A/P, i, N) \quad (2.10)$$

Total biaya tahunan tersebut disebut sebagai EUAC dengan rumus perhitungan seperti Persamaan 2.11 sebagai berikut.

$$EUAC(i) = CR(i) + OC(i) \quad (2.11)$$

Umur ekonomis suatu aset didefinisikan sebagai sebuah periode yang mampu meminimalkan biaya ekuivalen tahunan untuk memiliki dan mengoperasikan aset. Biaya ekuivalen tahunan tersebut akan menurun dengan meningkatnya masa pakai suatu aset. Penurunan tersebut hanya terjadi sampai masa pakai tertentu. Apabila masa pakainya meningkat maka biaya ekuivalen tahunan juga akan meningkat. Grafik EUAC dari suatu aset diilustrasikan seperti Gambar 2.12 di bawah ini.



Gambar 2. 12 Grafik EUAC

Selain umur ekonomis, terdapat beberapa definisi dari umur aset yaitu *physical life*, *accounting life*, dan *ownership life*. *Physical life* adalah waktu yang dibutuhkan aset hingga aset dibongkar. *Accounting life* adalah lama waktu yang dibutuhkan sampai dengan aset secara total terdepresiasi. *Ownership life* adalah waktu dari pembelian aset hingga aset dijual kembali.

2.4.6 Analisis Penggantian Setelah Pajak

Penggunaan pajak pada analisis penggantian menyebabkan terjadinya beberapa perubahan pada perhitungan biaya minimum *defender* dan *challenger*. Perubahan tersebut didasarkan pada metode depresiasi yang digunakan dan perubahan terhadap nilai pasar pada aset. Misalnya dengan menggunakan metode depresiasi *declining balance* atau *double declining balance* dapat mengurangi biaya setelah pajak pada tahap awal aset. Hal ini dapat merubah kurva dan nilai minimum pada EUAC.

2.5 Konsep Revaluasi Aset Tetap

Revaluasi aset tetap merupakan penilaian kembali aset tetap perusahaan yang disebabkan karenanya adanya kenaikan nilai aset tersebut di perusahaan atau rendahnya nilai aset tetap pada laporan keuangan. Rendahnya nilai aset tetap tersebut dapat disebabkan karena devaluasi atau sebab lain sehingga tidak mencerminkan nilai yang wajar pada laporan keuangan (Waluyo & Wirawan, 2002). Revaluasi sering dianggap dapat menyebabkan nilai aset menjadi tinggi meskipun dalam beberapa kasus dapat menghasilkan nilai yang lebih rendah dari sebelumnya yang disebut dengan *impairment* (Martani, 2012).

Revaluasi aset harus dilakukan secara konsisten oleh perusahaan meskipun perusahaan tidak perlu melakukan revaluasi setiap tahun selama nilai aset tidak berubah signifikan. Revaluasi dapat dilakukan kembali ketika terdapat perbedaan material antara nilai wajar aset yang telah direvaluasi dengan jumlah yang tercatat (Lativa et al., 2016). Revaluasi aset tetap dapat mempengaruhi biaya komponen A yang secara otomatis juga mempengaruhi EUAC aset. Apabila EUAC berubah maka dapat menyebabkan perubahan pada umur ekonomis dan hasil analisis penggantian.

2.6 Komponen Biaya Pokok Pembangkit (BPP) Listrik

Biaya didefinisikan sebagai suatu nilai tukar, pengeluaran, atau pengorbanan yang dilakukan untuk menjamin perolehan manfaat (Carter, 2009). Terdapat empat komponen biaya yang menyusun BPP listrik. Keempat biaya tersebut terdiri dari komponen A (*Capital Cost Recovery*), komponen B (*fixed operational and maintenance cost*), komponen C (*fuel cost*) dan komponen D (*variable operational and maintenance cost*) (Maksum & Rivai, 2015).

2.6.1 Komponen A (*Capital Cost Recovery*)

Capital cost recovery adalah total biaya investasi pembangkit mulai dari perencanaan hingga selesainya tahap konstruksi dari suatu pembangkit (Maksum & Rivai, 2015). Setiap pembangkit memiliki struktur komponen A yang berbeda tergantung pada kebutuhan setiap pembangkit. Secara umum, komponen A terdiri

atas biaya konstruksi seperti pekerjaan sipil, biaya pembelian turbin, generator, dan boiler.

2.6.2 *Komponen B (Fixed Operational and Maintenance Cost)*

Fixed operational and maintenance cost adalah total biaya operasi dan pemeliharaan pada pembangkit yang tidak bergantung pada jumlah kuantitas listrik yang dihasilkan. Komponen biaya B terdiri dari biaya gaji pegawai/karyawan, biaya administrasi, biaya manajemen, dan biaya pemeliharaan.

2.6.3 *Komponen C (Fuel Cost)*

Fuel cost adalah biaya bahan bakar yang digunakan untuk memproduksi listrik. Biaya pada komponen C berbeda antara satu pembangkit dengan yang lainnya bergantung pada kesepakatan *heat rate* yang telah ditentukan. *Heat rate* merupakan nilai efisiensi mesin dalam menghasilkan energi listrik. Komponen C tergolong biaya variabel karena besarnya bergantung pada output listrik yang dihasilkan.

2.6.4 *Komponen D (Variable Operational and Maintenance Cost)*

Variable operational and maintenance cost adalah total biaya operasi dan pemeliharaan pada pembangkit yang bergantung pada jumlah kuantitas listrik yang dihasilkan. Biaya pada komponen D terdiri dari biaya pelumas/oli, penggantian *sparepart*, *overhaul*, dan sebagainya. Semakin tinggi jam operasional dan beban pembangkit maka menyebabkan biaya komponen ini juga meningkat.

2.7 *Rolling Planning Horizon*

Planning horizon adalah lamanya waktu untuk masa depan yang diperhitungkan dalam sebuah rencana tertentu. *Planning horizon* dibagi menjadi dua yaitu waktu dan biaya dengan tujuan yang terdiri dari jangka pendek, jangka menengah, dan jangka panjang. Semakin lama horizon, maka semakin banyak ketidakpastian dan risiko yang membuat rencana menjadi tidak akurat. Pada setiap titik waktu, model manajemen kas stokastik memberikan kebijakan optimal atas seluruh *planning horizon* pada T tertentu, tetapi hanya keputusan tahap pertama

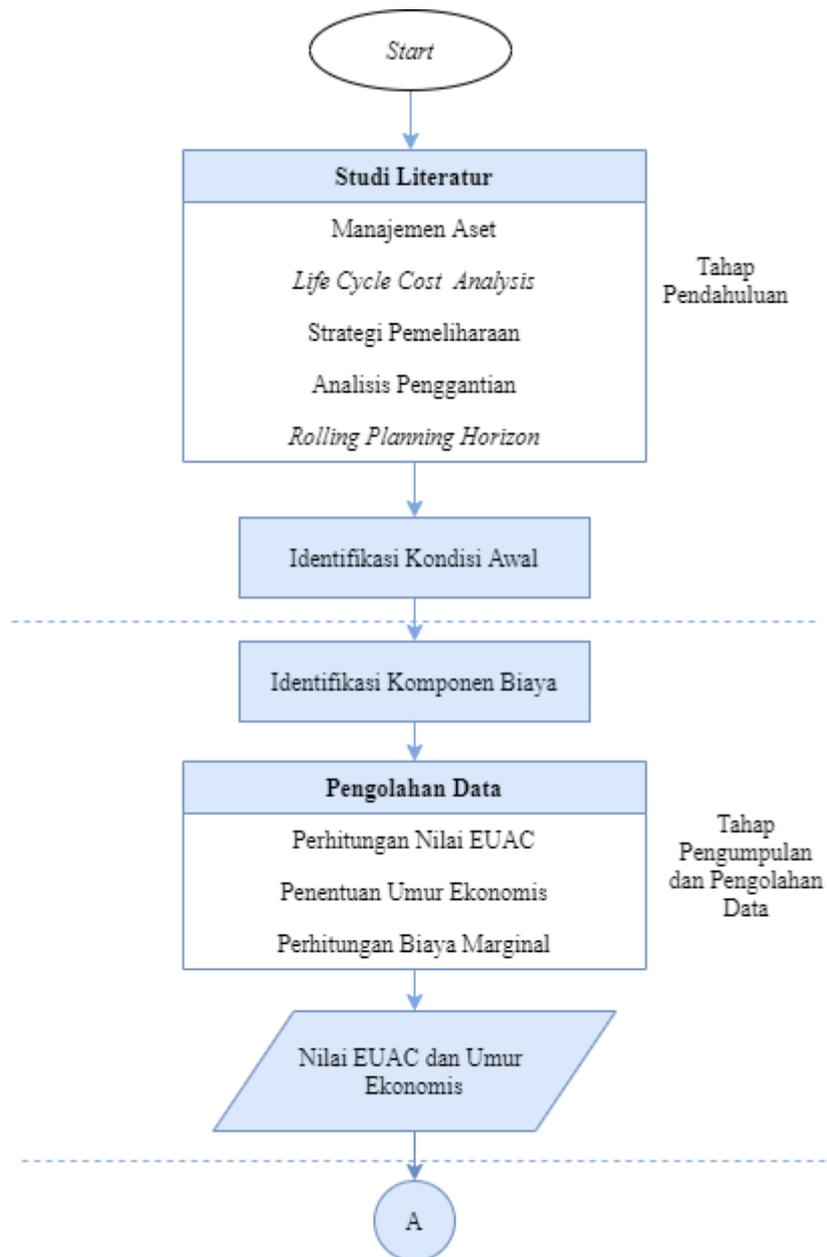
yang diimplementasikan. Pada periode berikutnya, model yang diusulkan dijalankan lagi dengan *planning horizon* T yang sama tetapi dengan informasi baru tentang arus kas, kurva tingkat bunga dan evolusi harga, dan seluruh urutan keputusan historis atau bisa disebut optimalisasi *rolling horizon* (Kontoghiorghes et al., 2002).

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

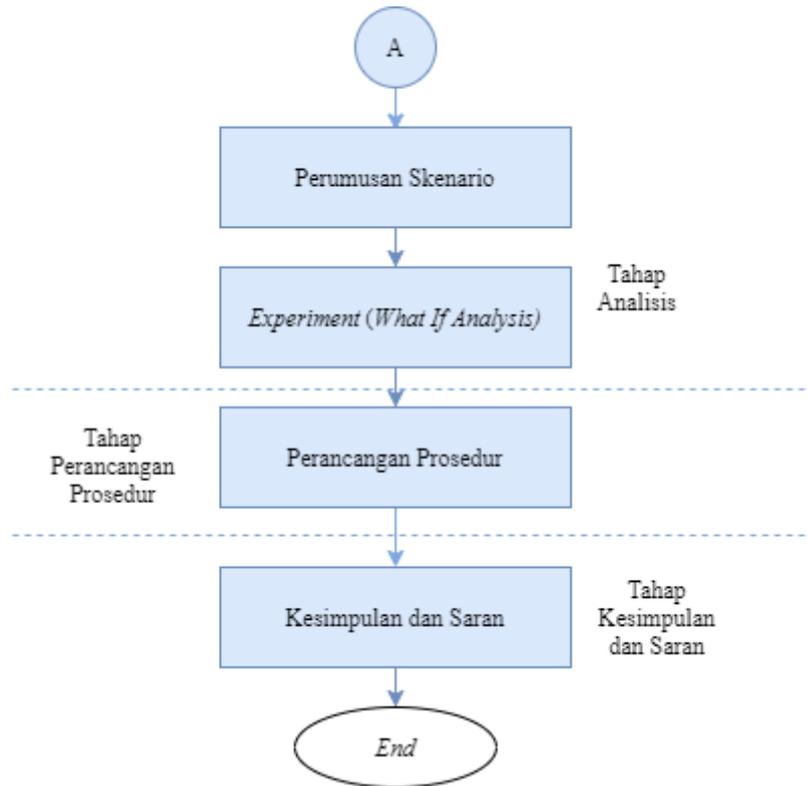
BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini dipaparkan mengenai langkah-langkah dalam pelaksanaan penelitian Tugas Akhir. Gambar 3.1 menunjukkan diagram alir pelaksanaan penelitian ini.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Metodologi Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Metodologi Penelitian (Lanjutan)

Tahapan penelitian tugas akhir ini terdiri dari tahap pendahuluan, tahap pengumpulan dan pengolahan data, tahap analisis, tahap perancangan prosedur, serta tahap kesimpulan dan saran. Penjelasan pada kelima tahapan tersebut dijabarkan sebagai berikut.

3.1 Tahap Pendahuluan

Tahap pendahuluan merupakan tahap yang dilakukan sebelum melakukan penelitian. Tahap ini terdiri dari studi literatur dan identifikasi kondisi awal.

3.1.1 Studi Literatur

Studi literatur bertujuan untuk membangun kerangka berpikir penulis dalam mengidentifikasi permasalahan. Studi literatur yang digunakan adalah manajemen aset, LCCA, strategi pemeliharaan, analisis penggantian, konsep revaluasi aset tetap, komponen BPP listrik dan *rolling planning horizon*.

3.1.2 Identifikasi Kondisi Awal

Tahap identifikasi kondisi awal merupakan tahapan yang dilakukan untuk mengumpulkan informasi terkait manajemen aset yang dilakukan oleh PT PJB Unit Pembangkit Gresik. Identifikasi kondisi awal dilakukan dengan metode wawancara dan observasi di PT PJB Unit Pembangkit Gresik. Wawancara dilakukan kepada departemen *engineering* untuk mencari informasi dan mempelajari prosedur yang telah diterapkan dalam manajemen aset. Hasil dari wawancara dapat membantu penulis dalam mengidentifikasi permasalahan yang ada. Observasi dilakukan untuk mengumpulkan data yang digunakan dalam membangun model LCCA. Identifikasi permasalahan dijabarkan sebagai berikut.

1. Sebagian besar usia pembangkit telah mendekati atau melampaui umur ekonomis, sehingga diperlukan manajemen aset yang tepat untuk menghasilkan biaya terendah.
2. Keputusan dalam manajemen aset dilakukan berdasarkan kondisi operasional peralatan. Apabila terjadi kerusakan berulang, departemen *engineer* akan melakukan proses Dokumen Manajemen Resiko (DRM) yang terdiri dari kajian operasional, finansial, resiko, dan kepatuhan. Dokumen Manajemen Resiko digunakan sebagai dasar dalam melakukan perbandingan alternatif dengan *challenger*.
3. Pada tanggal 31 Desember 2015, perusahaan dan anak perusahaan melakukan perubahan kebijakan akuntansi dari model biaya menjadi model revaluasi untuk kelas aset tertentu. Kebijakan revaluasi dapat meningkatkan beban depresiasi sehingga berpotensi memengaruhi perhitungan *acquisition cost* pada LCC dan umur ekonomis. Revaluasi harus dilakukan secara berkala sesuai dengan ketentuan yang berlaku.
4. Analisis penggantian pada aset menggunakan nilai investasi awal.

3.2 Tahap Pengumpulan dan Pengolahan Data

Tahap pengumpulan dan pengolahan data merupakan tahap untuk mengumpulkan informasi yang digunakan untuk merancang prosedur. Tahap ini memiliki beberapa sub bagian sebagai berikut.

3.2.1 Identifikasi Komponen Biaya

Pada tahap ini, LCC dirancang dengan komponen biaya yang relevan. Komponen tersebut didasarkan pada BPP listrik, yaitu:

1. Komponen A (*Capital Cost Recovery*)

Capital Cost Recovery atau biaya modal adalah total biaya yang dikeluarkan untuk investasi dari unit pembangkit. Pada perhitungan biaya *capital recovery*, *salvage value* dihitung sebagai pendapatan, sehingga rumus *capital recovery* ditunjukkan seperti persamaan di bawah ini.

$$CR = (P - SV)(A/P, i\%, N) + (SV \times i\%) \quad (3.1)$$

Keterangan:

CR : *Capital recovery*

SV : *Salvage Value*

i : MARR

N : Umur investasi ketika perhitungan dilakukan

2. Komponen B dan D (Biaya O&M Tetap dan Variabel)

Biaya O&M tetap merupakan total biaya pemeliharaan, operasi, dan konsekuensial. Biaya pemeliharaan merupakan total biaya yang dikeluarkan untuk berbagai jenis pemeliharaan seperti *preventive maintenance*, *predictive maintenance*, *corrective maintenance*, dan *overhaul maintenance*. Total biaya pemeliharaan didefinisikan seperti rumus di bawah ini.

$$BP = \sum B_{PM} + \sum B_{PdM} + \sum B_{CM} + \sum B_{OH} \quad (3.2)$$

Keterangan:

B_{PM} : Biaya *Preventive maintenance*

B_{PdM} : Biaya *Predictive maintenance*

B_{CM} : Biaya *Corrective maintenance*

B_{OH} : Biaya *Overhaul maintenance*

Biaya *corrective maintenance* terdiri dari biaya material dan biaya tenaga kerja. Biaya material merupakan biaya untuk menghitung material yang diperlukan untuk melakukan pemeliharaan. Biaya tenaga kerja adalah biaya yang dikeluarkan akibat pemakaian tenaga kerja dari proses pemeliharaan. Persamaan 3.3

menunjukkan perhitungan *corrective maintenance* yang terdiri dari biaya material dan tenaga kerja.

$$B_{CM} = \sum BM_{CM} + \sum BT_{CM} \quad (3.3)$$

$$B_{CM} = (F_{CM} \times Bm_{CM}) + (F_{CM} \times n \times t \times Bt_{CM})$$

Keterangan:

F_{CM} : Jumlah kegagalan/tahun

n : Jumlah operator

t : Waktu non operasi

Bm_{CM} : Biaya material *corrective maintenance*/kegagalan

Bt_{CM} : Biaya tenaga kerja *corrective maintenance*

Pada biaya *preventive dan predictive maintenance*, total biaya didapatkan melalui biaya tenaga kerja. Persamaan di bawah ini menunjukkan perhitungan biaya tenaga kerja *preventive maintenance dan predictive maintenance*.

$$BT_{PM} = (SP_{PM} \times n \times Bt_{PM}) \quad (3.4)$$

Keterangan:

SP_{PM} : Skala pemeliharaan *preventive maintenance*

n : Jumlah operator

Bt_{PM} : Biaya tenaga kerja *preventive maintenance*

$$BT_{PdM} = (PD_{mh} \times Bt_{PdM}) \quad (3.5)$$

Keterangan:

PD_{PdM} : *Predictive maintenance manhours*/tahun

Bt_{PdM} : Biaya tenaga kerja *predictive maintenance*

Selain biaya pemeliharaan, komponen B dan D juga terdiri dari biaya operasi dan konsekuensial. Biaya operasi adalah biaya yang ditimbulkan pada operasional perusahaan. Biaya operasi yang dipertimbangkan adalah biaya pegawai. Persamaan 3.6 menunjukkan perhitungan biaya pegawai/aset.

$$Biaya\ Pegawai = \sum Gaji\ Pegawai \times \frac{Capital_{equipment}}{Capital_{plant}} \quad (3.6)$$

Biaya konsekuensial adalah biaya yang disebabkan karena penurunan produksi energi listrik. Persamaan 3.7 menunjukkan rumus perhitungan pada biaya konsekuensial.

$$Biaya\ Konsekuensial = Pl\ (kWh) \times H_g \quad (3.7)$$

Keterangan:

Pl : Penurunan produksi energi listrik

H_g : Harga listrik/kWh

3. Komponen C (Biaya Konsumsi Energi)

Biaya konsumsi energi merupakan total biaya konsumsi energi yang dibutuhkan oleh aset dalam menghasilkan listrik. Perhitungan biaya konsumsi energi terdiri dari biaya pemakaian bahan bakar gas dan listrik (*self consumption*). Perhitungan biaya konsumsi energi ditunjukkan seperti persamaan di bawah ini.

$$Biaya\ Konsumsi\ Energi = \sum Biaya\ El + \sum Biaya\ BB \quad (3.8)$$

di mana:

$$Biaya\ El = Self\ consume \times H_l \quad (3.9)$$

$$Biaya\ BB = H_g \times Kurs \times Kebutuhan\ Bahan\ Bakar/tahun \quad (3.10)$$

Keterangan:

El : Energi listrik

BB : Bahan bakar

H_l : Harga listrik/kWh

H_g : Harga gas/Mmbtu

3.2.2 Pengolahan Data

Pada tahap ini, dilakukan perhitungan EUAC *defender* dan *challenger* yang terdiri dari biaya *capital recovery* dan O&M. Perhitungan EUAC dilakukan berdasarkan komponen biaya yang telah ditentukan. Data yang digunakan dalam perhitungan EUAC didapatkan melalui data historis. Perhitungan EUAC ditunjukkan seperti persamaan di bawah ini.

$$EUAC = CR(A/P, i, n) + \sum_{n-1}^N OC_n(P/F, i, n)(A/P, i, n) \quad (3.11)$$

Setelah mendapatkan perhitungan EUAC sampai dengan sisa *planning horizon*, dilakukan pemilihan nilai yang paling minimum. Nilai minimum tersebut disebut dengan umur ekonomis dari aset. Nilai minimum EUAC dan umur ekonomis digunakan sebagai dasar dalam melakukan analisis penggantian.

Analisis penggantian dapat dilakukan dengan menggunakan berbagai metode. Metode yang pertama dilakukan adalah membandingkan EUAC *defender* dan *challenger*. Apabila $EUAC_{defender} < challenger$, maka keputusan yang terpilih adalah *replace*. Namun apabila sebaliknya, maka perhitungan *marginal cost defender* dilakukan untuk mengetahui biaya yang dibutuhkan ketika mempertahankan aset. Rumus *marginal cost* (MC) didefinisikan seperti persamaan di bawah ini.

$$MC_t = SV_t - 1(1 + i) \times SV_t + O\&M_t \quad (3.12)$$

Langkah selanjutnya adalah melakukan perbandingan antara EUAC *challenger* dan MC *defender*. Apabila $EUAC_{challenger} < MC_{defender}$ maka aset diganti dengan *challenger*. Sebaliknya apabila $EUAC_{challenger} > MC_{defender}$ maka aset dipertahankan dan dilakukan perhitungan MC pada tahun berikutnya.

Analisis penggantian dengan *finite planning horizon* juga dilakukan karena *planning horizon* yang ditentukan pada penelitian bersifat terbatas. Analisis ini dilakukan dengan menyusun alternatif kombinasi penggantian. Kemudian perhitungan *present worth* dilakukan untuk mengetahui alternatif penggantian yang memiliki biaya terendah.

3.3 Tahap Analisis

Tahap analisis merupakan tahap melakukan perumusan skenario dan *experiment (What-If Analysis)* terhadap model perhitungan biaya yang telah diselesaikan pada bab sebelumnya.

3.3.1 Perumusan Skenario

Perumusan skenario dilakukan setelah melakukan tahap pengolahan data. Skenario tersebut bertujuan untuk menangkap berbagai kondisi yang mungkin terjadi pada analisis biaya siklus hidup. Tabel 3.1 menjabarkan berbagai skenario yang akan digunakan pada penelitian Tugas Akhir ini.

Tabel 3.1 Skenario pada Prosedur

No.	Skenario	Deskripsi
1.	<i>Unequal Service</i>	<i>Defender</i> dan <i>challenger</i> sering kali memiliki umur ekonomis yang berbeda sehingga memungkinkan terjadinya umur aset > <i>planning horizon</i> atau umur aset < <i>planning horizon</i> . Beberapa peluang kejadian tersebut memiliki pendekatan perhitungan yang berbeda-beda.
2.	<i>Tracking</i>	Konsep EUAC dilakukan dengan menghitung biaya yang relevan selama siklus hidup aset. Biaya relevan seperti biaya pemeliharaan didapatkan dengan melakukan estimasi terhadap data historis untuk mendapatkan prediksi biaya di masa yang akan datang. <i>Tracking</i> merupakan skenario melakukan <i>update</i> pada prediksi biaya. Apabila prediksi tidak sesuai maka harus dilakukan perhitungan EUAC kembali untuk mendapatkan keputusan penggantian yang tepat.
3.	Ketersediaan opsi <i>challenger</i>	Pada praktiknya, <i>challenger</i> bisa jadi tidak tersedia atau terdapat beberapa pilihan <i>challenger</i> . Beberapa pilihan tersebut berpotensi memiliki umur yang tidak sama sehingga diperlukan pendekatan dan analisis yang lebih mendalam.
4.	Perubahan Teknologi	Adanya kehadiran <i>challenger</i> dengan harga investasi dan operasi yang lebih murah dapat menghasilkan berbagai opsi keputusan seperti menunda penggantian aset untuk menunggu <i>challenger</i> yang lebih baik atau melakukan penggantian dengan mengorbankan <i>defender</i> .

Setelah tahap perumusan skenario, dilakukan tahap pengujian skenario yang dijelaskan pada sub bab berikutnya.

3.3.2 Experiment (What-If Analysis)

Pada tahap ini akan dilakukan *experiment (What-If Analysis)* untuk menjawab hasil yang akan terjadi apabila terdapat skenario yang telah dibahas pada Subbab 3.3.1. *What-If Analysis* juga dapat disebut sebagai sebuah simulasi data yang bertujuan menganalisis karakteristik dari sistem yang kompleks di bawah hipotesis yang diberikan.

Data yang digunakan untuk melakukan percobaan adalah data historis peralatan pada tahun 2001-2016 serta data *artificial* yang disusun untuk dapat membuktikan skenario yang akan terjadi di masa depan. Jika dari percobaan data

yang dilakukan, skenario terbukti dapat terjadi di masa depan maka dilakukan perumusan solusi dari skenario tersebut.

3.4 Tahap Perancangan Prosedur

Pada tahap ini dilakukan perancangan prosedur berdasarkan analisis data dan evaluasi yang telah dilakukan pada bab sebelumnya. Prosedur tersebut bertujuan untuk memberikan rekomendasi kepada perusahaan mengenai evaluasi analisis biaya siklus hidup. Tahap perancangan prosedur dilakukan dengan memasukkan hasil skenario yang telah dilakukan ke diagram alir. Penjelasan diberikan kepada setiap bagian pada diagram alir untuk memudahkan pengambil keputusan dalam melaksanakan prosedur.

3.5 Tahap Kesimpulan dan Saran

Pada tahap ini dilakukan penarikan kesimpulan sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai dari pengerjaan Tugas Akhir. Selain penarikan kesimpulan, saran juga diberikan untuk penelitian selanjutnya.

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

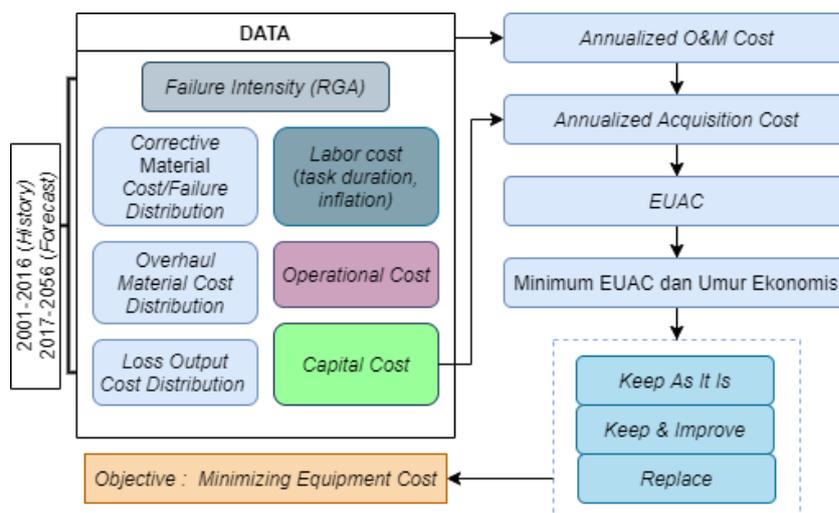
BAB 4

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai hasil pengumpulan dan pengolahan data yang dilakukan pada PLTU 3 PT PJB Unit Pembangkit Gresik yang meliputi identifikasi kondisi awal di PT PJB Unit Pembangkit Gresik, komponen dan perhitungan LCC, serta analisis penggantian.

4.1 Identifikasi Kondisi Awal Perhitungan *Life Cycle Cost* dan Analisis Penggantian di PT PJB Unit Pembangkit Gresik

Sebagai perusahaan yang memiliki visi “menjadi perusahaan pembangkit tenaga listrik Indonesia yang terkemuka dengan standar kelas dunia”, PT PJB telah mengimplementasikan berbagai sistem manajemen aset *best practice* dalam rangka mengelola asetnya. Salah satu langkah manajemen aset yang dilakukan pihak PJB adalah melakukan perhitungan LCCA dan analisis penggantian. Langkah tersebut bertujuan untuk mengetahui tindakan yang tepat dalam *keep*, *repair*, atau *replace*. Selain itu, LCC digunakan untuk mengintegrasikan sistem dan berfungsi sebagai *periodic performance maintenance* pada perusahaan.

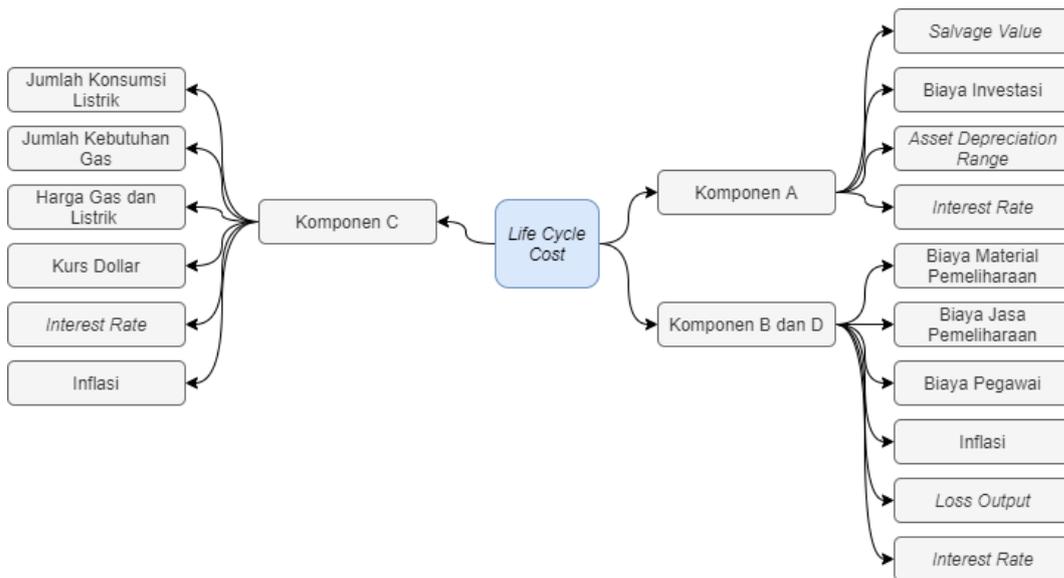


Gambar 4. 1 LCCM Data Analysis dan Calculation
(PT Pembangkit Jawa-Bali, 2018)

Gambar 4.1 menunjukkan langkah-langkah yang dilakukan PJB dalam melakukan perhitungan LCCA. Perhitungan LCCA dihitung berdasarkan tahun akuisisi hingga *planning horizon* pembangkit pada tahun 2056. Data antara tahun 2001 hingga tahun 2016 digunakan sebagai data historis dan dasar melakukan estimasi untuk tahun selanjutnya. Setelah dilakukan perhitungan, didapatkan nilai minimum EUAC dan umur ekonomis pada setiap aset. Umur ekonomis tersebut dijadikan dasar dalam menentukan keputusan selanjutnya yaitu *keep*, *replace*, atau *improve* dengan menggunakan asumsi *repeatability*.

4.2 Komponen Perhitungan *Life Cycle Cost*

Tujuan dari penggambaran komponen perhitungan LCC adalah untuk mengidentifikasi faktor-faktor relevan dalam perancangan prosedur biaya siklus hidup aset. Komponen perhitungan LCC tersebut digambarkan melalui *mind map* seperti pada Gambar 4.2 di bawah ini.



Gambar 4. 2 *Mind Map* Perhitungan LCC

Komponen perhitungan EUAC dipengaruhi oleh komponen A (biaya investasi), komponen C (biaya bahan bakar), serta komponen B dan D (biaya Operasi dan Pemeliharaan).

4.3 Perhitungan *Life Cycle Cost*

Pada sub bab ini dilakukan perhitungan LCC yang terdiri dari perhitungan biaya akuisisi tahunan, biaya operasi, biaya pemeliharaan, dan biaya konsekuensial. Melalui penjumlahan komponen biaya pada LCC didapatkan nilai EUAC yang digunakan untuk analisis penggantian. Data yang digunakan pada perhitungan EUAC adalah data historis aset dari tahun 2001-2016.

4.3.1 Perhitungan *Biaya Capital Recovery*

Salah satu komponen perhitungan EUAC adalah biaya *capital recovery*. Biaya *capital recovery* merupakan metode yang mendistribusikan aliran kas dari modal yang tertanam secara merata pada setiap periode waktu sepanjang umur investasi. Perhitungan ini diperlukan karena selama penggunaannya, beberapa aset seperti mesin dan kendaraan mengalami penurunan nilai yang disebabkan oleh depresiasi. Penentuan depresiasi didasarkan pada masa pakai aset yang merupakan lama waktu suatu mesin dapat dipakai secara teknis. Penentuan masa pakai aset seringkali sulit dilakukan karena adanya berbagai ketidakpastian, oleh karena itu *Internal Revenue Service (IRS)* menerbitkan pedoman mengenai *asset depreciation range* pada beberapa kategori aset (Park, 2006). Tabel 4.1 menunjukkan mengenai pedoman pada *asset depreciation range* pada beberapa kategori aset.

Tabel 4.1 *Asset Depreciation Range*

Kategori Aset	<i>Asset Depreciation Range</i> (Tahun)		
	<i>Lower Limit</i>	<i>Midpoint Life</i>	<i>Upper Limit</i>
Peralatan dan Perlengkapan Kantor	8	10	12
Komputer	5	6	7
Industri uap dan pembangkit listrik dan sistem distribusi	17,5	22	26,5

Sumber: Park (2006)

Aset pada industri pembangkit termasuk pada golongan aktiva IV yang disusutkan dengan menggunakan metode *straight line* (Keputusan Menteri Keuangan, 2002). Persamaan 4.1 menunjukkan langkah perhitungan depresiasi dengan menggunakan metode *straight line*.

$$D_t = \frac{P}{N} \quad (4.1)$$

Keterangan:

D_t : Nilai depresiasi dari tahun ke tahun

P : Modal yang ditanamkan sebagai investasi awal

N : *Asset depreciation range* (Tahun)

Contoh perhitungan depresiasi pada aset *generator transformer* diberikan sebagai berikut.

$$D_t = \frac{\text{Rp } 11.510.805.571}{26,5} = \text{Rp } 434.370.022$$

Pada pelaksanaannya, masa pakai aset sangat beragam tergantung kepada jenis aset dan pemeliharaan yang dilakukan. Umur ekonomis aset dapat terjadi di antara masa pakai aset. Tujuan dari perhitungan depresiasi adalah untuk mendapatkan nilai sisa (*salvage value*) yang digunakan pada perhitungan biaya *capital recovery*. *Salvage value* merupakan nilai taksiran aset di akhir masa pakainya yang harus diestimasi ketika terjadi depresiasi. Persamaan 4.2 menunjukkan langkah perhitungan *salvage value*.

$$SV(n) = P - ((n - n_0) \times D_t) \quad (4.2)$$

Keterangan:

$SV(n)$: *Salvage value* pada akhir tahun ke n

n : Tahun perhitungan *salvage value*

n_0 : Tahun akuisisi aset

Contoh perhitungan *salvage value* pada aset *generator transformer* diberikan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} SV(2020) &= \text{Rp } 11.510.805.571 - ((2002 - 2020) \times \text{Rp } 434.370.022) \\ &= \text{Rp } 3.692.145.183 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa apabila aset digunakan sampai dengan tahun 2020 maka memiliki nilai sisa Rp3.692.145.183. Selanjutnya dilakukan perhitungan biaya *capital recovery*. Pada *defender*, nilai P pada *capital recovery* adalah *salvage value* pada tahun terakhir. Contoh perhitungan biaya *capital recovery* pada tahun 2020 ditunjukkan sebagai berikut.

$$CR(2020) = (Rp4.126.515.205 - Rp3.692.145.183)(A/P, 10\%, 1) \\ + (Rp3.692.145.183 \times 10\%) \\ CR(2020) = Rp5.979.881.142$$

Tabel 4.2 menunjukkan perhitungan *capital recovery* pada aset *generator transformer* PLTU 3 yang dimulai pada tahun 2020.

Tabel 4.2 Biaya *Capital Recovery Generator Transformer* (Rp)

Tahun	<i>P</i>	Depresiasi	<i>Salvage Value</i>	Biaya <i>Capital Recovery</i>
2019	4.126.515.205	434.370.022		
2020			3.692.145.183	1.216.236.060
2021			3.257.775.162	1.152.114.771
2022			2.823.405.140	1.088.680.876
2023			2.389.035.119	1.025.931.263
2024			1.954.665.097	963.861.606
2025			1.520.295.075	902.466.392
2026			1.085.925.054	841.738.950
2027			651.555.032	781.671.502
:			:	:
2056			-	425.154.616

Tabel 4.2 menunjukkan biaya *capital recovery* yang menurun setiap tahunnya selama *planning horizon* umur pembangkit. Penurunan tersebut disebabkan karena aset mengalami depresiasi sehingga semakin lama penggunaan aset, semakin kecil biaya *capital recovery*.

4.3.2 Perhitungan Biaya *O&M*

Pada sub bab ini akan dipaparkan mengenai biaya *operational and maintenance* (*O&M*) yang terbagi menjadi biaya pemeliharaan, biaya operasional, dan biaya konsekuensial.

1. Biaya Pemeliharaan

Biaya pemeliharaan terdiri dari biaya *preventive maintenance*, *predictive maintenance*, *corrective maintenance*, dan *overhaul maintenance*. Pada *corrective maintenance* telah disepakati bahwa besaran biaya tenaga kerja sebesar Rp

75.000/jam di tahun 2020 sedangkan biaya material didapatkan dari data estimasi pihak perusahaan. Perhitungan waktu non operasi dan jumlah operator juga didapatkan dari data historis perusahaan. Contoh perhitungan biaya *corrective maintenance* pada tahun 2010 ditunjukkan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 B_{CM} &= (1 \times Rp18.800.000) + (1 \times 5 \times 12 \times Rp75.000(P/F10\%; -10)) \\
 &= Rp18.800.000 + Rp 2.374.873 \\
 &= Rp21.174.873
 \end{aligned}$$

Tabel 4.3 menunjukkan total biaya *corrective maintenance* pada *generator transformer*.

Tabel 4.3 Total Biaya *Corrective Maintenance* pada *Generator Transformer* (Rp)

Tahun	Waktu non Operasi	Jumlah Operator	Biaya Material	Biaya Tenaga Kerja	Biaya Total <i>Corrective Maintenance</i>
:	:	:	:	:	:
2010	12	5	18.800.000	2.374.873	21.174.873
2011	4	3	36.000.000	1.012.646	73.012.646
:	:	:	:	:	:

Berdasarkan Tabel 4.3, didapatkan bahwa biaya *corrective maintenance* akan meningkat seiring dengan waktu penggunaan aset. Hal tersebut disebabkan karena adanya penurunan fungsi pada aset sehingga memungkinkan terjadinya kegagalan.

Pada perhitungan biaya *preventive* dan *predictive maintenance*, biaya yang diperhitungkan adalah biaya tenaga kerja. Perhitungan biaya tenaga kerja pada *preventive maintenance* bergantung pada skala pemeliharaan yang dimiliki oleh setiap aset sedangkan pada *predictive maintenance* bergantung pada jumlah *manhours* tiap tahun. Aset *generator transformer* memiliki skala pemeliharaan *preventive* sebanyak 18 pemeliharaan /tahun yang dimulai pada tahun 2004 dan 9 jam *manhours*/tahun yang dimulai pada tahun 2013. Contoh perhitungan biaya tenaga kerja pada *preventive* dan *predictive maintenance* ditunjukkan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 BT_{PM}(2010) &= (18 \times 34 \times Rp75.000(P/F10\%; -10)) \\
 &= Rp24.223.709
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 BT_{PdM}(2013) &= (9 \times Rp75.000(P/F10\%; -7)) \\
 &= Rp431.522
 \end{aligned}$$

Perhitungan biaya *overhaul maintenance* yang terdiri dari biaya material dan biaya tenaga kerja. Kedua biaya tersebut didapatkan dari data perhitungan *maintenance* yang telah dilakukan perusahaan.

Tabel 4.4 menunjukkan total biaya pemeliharaan pada aset *generator transformer* yang terdiri dari *corrective maintenance*, *preventive maintenance*, *predictive maintenance*, dan *overhaul maintenance*.

Tabel 4.4 Total Biaya Pemeliharaan *Generator Transformer* (Ribu Rp)

Tahun	<i>Corrective</i>		<i>Preventive</i>	<i>Predictive</i>	<i>Overhaul</i>		Total Biaya
	Biaya Material	Biaya Tenaga Kerja	Biaya Tenaga Kerja	Biaya Tenaga Kerja	Biaya Material	Biaya Tenaga Kerja	
2010	8.800	2.374,8	24.223,70		68.141,9	5.997	1.232.381
2011	72.000	1.012,6	25.822,4		94.343,1		438.243
2012			27.526,7		672.100.		706.226,7
2013		1.150,7	29.343,5	431.522		7.346.,6	280.772
2014		1.226,6	31.280,19	460.003		83.850,1	141.691.9

Setiap tahunnya biaya pemeliharaan memiliki *trend* kenaikan yang meningkat. Hal tersebut disebabkan karena dengan bertambahnya umur pemakaian, keandalan mesin semakin berkurang sehingga dapat menimbulkan biaya pemeliharaan yang meningkat.

2. *Biaya Operasional*

Perhitungan biaya operasional terdiri dari biaya pegawai. Biaya Pegawai merupakan biaya yang dikeluarkan setiap aset terhadap pegawai. Perhitungan biaya pegawai/aset didapatkan dengan mengalikan antara total gaji pegawai pada unit tersebut dengan koefisien aset yang merupakan pembagian antara nilai *capital* aset tersebut dibagi dengan total *capital* pada unit tertentu. Perhitungan biaya pegawai dilakukan berdasarkan data historis gaji pegawai yang telah tersedia pada tahun 2001-2016. Estimasi biaya pegawai hingga tahun 2056 dilakukan menggunakan konsep peningkatan harga secara umum. Namun tingkat inflasi pada peningkatan

biaya pegawai lebih tinggi dari tingkat inflasi secara umum. Tingkat inflasi pada biaya pegawai diestimasikan lebih besar sebanyak 2% dari tingkat inflasi umum (PT Pembangkit Jawa Bali, 2019). Peningkatan tersebut disebabkan karena PT PJB ingin meningkatkan kesejahteraan pegawai dan nilai tukar gaji. Nilai tukar gaji adalah peningkatan biaya pegawai yang lebih tinggi dari tingkat inflasi secara umum. Contoh perhitungan biaya pegawai pada aset *generator transformer* ditunjukkan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Biaya Pegawai (2010)} &= \text{Rp } 77.067.365.700 \times 0,0000343 \\ &= \text{Rp}2.649.948 \end{aligned}$$

Rekap perhitungan biaya pegawai pada aset *generator transformer* ditunjukkan seperti pada Tabel 4.5 di bawah ini.

Tabel 4.5 Total Perhitungan Biaya Operasional *Generator Transformer* (Rp)

Tahun	Biaya Pegawai
2010	2.649.948
2011	2.761.972
2012	3.053.102
2013	2.918.870
2014	3.262.770
2015	4.077.459
2016	4.472.785
2017	5.166.067
2018	5.966.807
2019	6.891.662
2020	7.959.870

3. *Biaya Konsumsi Energi*

Biaya konsumsi energi terdiri dari biaya bahan bakar dan biaya energi listrik. Biaya energi listrik didapatkan dari jumlah energi listrik yang digunakan sendiri (*self consumption*) oleh unit pembangkit untuk mengoperasikan asetnya. Biaya bahan bakar merupakan total biaya bahan bakar yang dibutuhkan suatu pembangkit untuk memproduksi listrik setiap kWh. Jenis bahan bakar yang digunakan pada PLTU 3 merupakan bahan bakar gas dengan harga USD 5,16-11,85/MMBTU pada tahun 2018 (PT Pembangkit Jawa-Bali, 2018). Nilai kurs dollar dapat mempengaruhi perhitungan dikarenakan adanya transaksi

menggunakan mata uang dollar. Sesuai dengan ketentuan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No. 07 Tahun 2017, seluruh harga dasar kontrak ditinjau secara periodik setiap 3 bulan untuk disesuaikan dengan nilai tukar rupiah terhadap mata uang USD. Estimasi kurs dollar yang digunakan dalam perhitungan biaya bahan bakar menggunakan metode *purchasing power parity* (PPP) yang membandingkan tingkat inflasi antara kedua negara yang bersangkutan. Jumlah pemakaian listrik setiap aset didapatkan dengan mengalikan antara persentase *self consume*/unit, jumlah produksi listrik/unit/tahun, dan koefisien aset. Jumlah kebutuhan gas/aset didapatkan dengan mengalikan antara kebutuhan bakar bakar/unit dengan koefisien aset. Contoh perhitungan biaya konsumsi energi pada aset *generator transformer* ditunjukkan sebagai berikut.

Biaya Konsumsi Energi (2010)

$$= (209.555,5 \times Rp\ 810) + (\$7,19 \times Rp\ 11.595 \times 564,4)$$

$$= Rp\ 2.089.299.802$$

Tabel 4.6 menunjukkan total perhitungan konsumsi energi pada *generator transformer*.

Tabel 4.6 Total Perhitungan Konsumsi Energi *Generator Transformer* (Rp)

Tahun	Biaya Konsumsi Energi Listrik		Biaya Konsumsi Bahan Bakar			Total Biaya Konsumsi Energi
	<i>Selfconsume</i> (kWh)	Harga Listrik	Kebutuhan Gas/Tahun (Mmbtu)	Kurs	Harga Gas (\$)	
2010	209.555	810	564,4	11.595	7,19	2.089.299.802
2011	199.205	826,70	22411,77	11.868	7,35	2.119.438.482
2012	178.966	844,065	34052,97	12.147	7,50	3.254.814.717
2013	185.465	861,79	34045	12.433	7,66	3.402.498.389
2014	172.187	879,8	30311,37	2.725	7,82	3.168.472.263

Berdasarkan perhitungan tersebut didapatkan bahwa total biaya konsumsi energi mengalami *trend* kenaikan. Hal tersebut disebabkan karena kebutuhan dan harga listrik serta gas yang mengalami kenaikan.

4. Biaya Konsekuensial

Biaya konsekuensial merupakan biaya yang timbul karena adanya *outage* dan *derating*. *Derating* merupakan keadaan unit pembangkit yang beroperasi di bawah daya mampu netto (DMN). Daya mampu netto adalah kapasitas yang mampu dihasilkan oleh unit pembangkit dan dapat dijual ke pembeli atau distributor tunggal listrik. *Outage* merupakan kondisi ketika unit tidak beroperasi karena adanya kerusakan, gangguan dari luar maupun kegiatan pemeliharaan yang mengharuskan unit tidak beroperasi. Penurunan atau kehilangan produksi energi listrik mengakibatkan permintaan listrik tidak terpenuhi dan timbul sebagai biaya konsekuensial. Contoh perhitungan biaya konsekuensial dijabarkan seperti pada persamaan 4.13 di bawah ini.

$$\text{Biaya Konsekuensial} = 821700 \text{ (kWh)} \times \text{Rp } 1.086$$

$$\text{Biaya Konsekuensial} = \text{Rp } 892.293.810$$

4.3.3 Perhitungan EUAC

Perhitungan EUAC diperoleh dengan menambahkan biaya operasi dan biaya *capital recovery* yang telah dihitung pada sub bab di atas. Pada perhitungan EUAC biaya operasional dan biaya *capital recovery* ditarik menuju *annual cash flow*. Contoh perhitungan EUAC pada aset *generator transformer* ditunjukkan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{EUAC (2020)} &= \text{Rp } 1.216.236.060 \text{ (A/P, 10\%, 1)} \\ &+ \text{Rp } 4.763.645.082 \text{ (P/F, 10\%, 1)}(\text{A/P, 10\%, 1}) \\ &= \text{Rp } 5.979.881.142 \end{aligned}$$

Tabel 4.7 menunjukkan perhitungan EUAC untuk aset *generator transformer*.

Tabel 4.7 Perhitungan EUAC *Defender Generator Transformer* (Juta Rp)

Tahun	Biaya operasi	Salvage Value	Annual Maintenance Cost	Biaya Capital Recovery	Total EUAC
2020	4.763,6	3.692,1	4.763,6	1.216,2	5.979,8
2021	5.397,3	3.257,7	5.065,4	1.152,1	6.217,5
...
2055	377.296,3	-	28.409,9	426,4	28.836,4

Tahun	Biaya operasi	Salvage Value	Annual Maintenance Cost	Biaya Capital Recovery	Total EUAC
2056	427.503,8	-	29.619,1	425,1	30.044,3

 Umur Ekonomis

Berdasarkan Tabel 4.7 di atas didapatkan bahwa umur ekonomis berada di tahun 2020. Umur ekonomis tersebut dijadikan dasar dalam menentukan analisis selanjutnya dengan membandingkan EUAC antara *defender* dan *challenger*.

Analisis penggantian dilakukan dengan membandingkan antara EUAC *defender* dan *challenger*. Apabila $EUAC\ defender > EUAC\ challenger$ maka keputusan yang diambil adalah melakukan penggantian pada umur ekonomis *defender*. Sebaliknya, apabila $EUAC\ defender < EUAC\ challenger$, maka keputusan yang diambil adalah mempertahankan *defender* sampai dengan umur ekonomis dan melakukan perhitungan *marginal cost* untuk mengetahui kapan dilakukan penggantian aset. Tabel 4.8 menunjukkan perbandingan antara EUAC *defender* dan *challenger*.

Tabel 4.8 Perbandingan Antara *Defender* dan *Challenger* pada *Constant Voltage*

EUAC				
Tahun	<i>Defender</i>		<i>Challenger</i>	
2037	Rp	47.557.638	Rp	93.329.764
2038	Rp	46.713.908	Rp	91.671.741
2039	Rp	46.384.432	Rp	90.068.542
2040	Rp	46.601.211	Rp	88.520.230
2041	Rp	46.876.879	Rp	87.026.881
2042	Rp	47.204.202	Rp	85.588.580
2043	Rp	47.577.097	Rp	84.205.432
2044	Rp	47.990.407	Rp	82.877.564
2045	Rp	48.439.722	Rp	81.605.127
2046	Rp	48.921.245	Rp	81.304.252
2047	Rp	49.431.685	Rp	81.999.312
2048	Rp	49.968.171	Rp	82.778.485

Berdasarkan Tabel 4.8 didapatkan bahwa $EUAC\ defender < EUAC\ challenger$ sehingga keputusannya adalah mempertahankan aset. Selanjutnya

dilakukan perhitungan *marginal cost* yang merupakan biaya tambahan yang diperlukan untuk mempertahankan aset selama 1 tahun. Perhitungan *marginal cost* dilakukan apabila $EUAC\ defender < EUAC\ challenger$. Perhitungan *marginal cost* didapatkan dengan menjumlahkan biaya O&M dengan *salvage value* pada aset. Contoh perhitungan *marginal cost* ditunjukkan sebagai berikut.

$$MC (2039) = Rp\ 5.949.761(1 + 10\%) - (Rp54.780.723,86 + 0)$$

$$MC (2039) = Rp\ 61.325.461,78$$

Perhitungan *marginal cost* dilakukan mulai dari umur ekonomis untuk mempertahankan aset selama satu tahun ke depan. Apabila *marginal cost defender* lebih besar daripada nilai *EUAC challenger* maka keputusan yang dibuat adalah melakukan penggantian aset. Apabila sebaliknya maka aset dipertahankan sampai t dan dilakukan perhitungan *marginal cost* kembali untuk menentukan keputusan yang tepat pada aset. Tabel 4.9 menunjukkan perbandingan antara *marginal cost* dan *EUAC Challenger*.

Tabel 4.9 Perbandingan *Marginal Cost* dan *EUAC Challenger Constant Voltage*

Tahun	<i>Marginal Cost Defender</i>	<i>EUAC Challenger</i>	Keputusan
2040	Rp 60.258.796	Rp 81.304.252	<i>Keep</i>
2041	Rp 66.284.676		<i>Keep</i>
2042	Rp 72.913.143		<i>Keep</i>
2043	Rp 80.204.458		<i>Keep</i>
2044	Rp 88.224.904		<i>Replace</i>

Waktu penggantian yang tepat ditentukan berdasarkan perbandingan antara *marginal cost* dan *EUAC challenger*. Seperti pada perhitungan di atas didapatkan bahwa biaya yang dibutuhkan untuk mempertahankan aset hingga satu tahun kedepan adalah $Rp\ 60.258.796 < Rp\ 81.304.252$, sehingga aset dipertahankan hingga akhir umur ekonomis. Pada tahun selanjutnya dilakukan kembali perhitungan *marginal cost* dan didapatkan nilai $Rp\ 88.224.904 > Rp\ 81.304.252$, sehingga keputusannya adalah mengganti aset pada akhir tahun 2043. Hal tersebut disebabkan biaya untuk mempertahankan aset pada tahun 2044 lebih besar daripada mengganti aset pada tahun 2043.

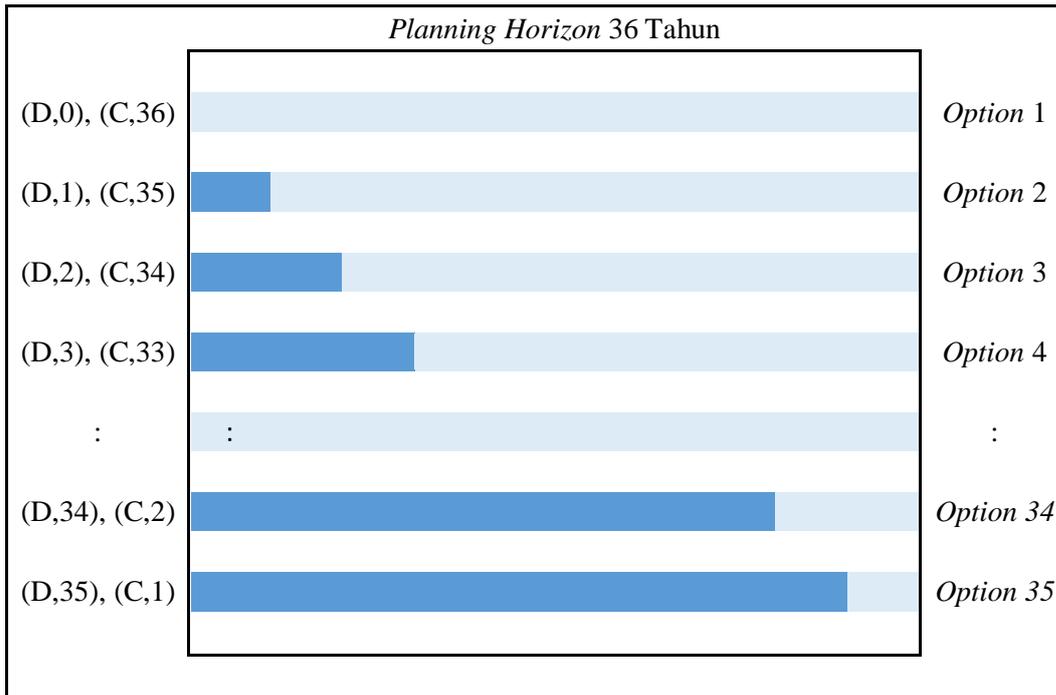
4.4 Analisis Penggantian pada *Finite Planning Horizon*

Apabila *planning horizon* telah ditentukan atau terbatas, maka metode perbandingan EUAC kurang sesuai digunakan. Prosedur yang tepat adalah mencari semua kemungkinan alternatif penggantian antara *defender* dan *challenger*. Alternatif terbaik adalah alternatif dengan *present worth* terkecil (Park, 2006). Tabel 4.10 menunjukkan perhitungan EUAC antara *defender* dan *challenger*.

Tabel 4.10 EUAC *Defender* dan *Challenger* (Rp)

EUAC				
Tahun	<i>Defender</i>		<i>Challenger</i>	
2037	Rp	47.557.638	Rp	93.329.764
2038	Rp	46.713.908	Rp	91.671.741
2039	Rp	46.384.432	Rp	90.068.542
2040	Rp	46.601.211	Rp	88.520.230
2041	Rp	46.876.879	Rp	87.026.881
2042	Rp	47.204.202	Rp	85.588.580
2043	Rp	47.577.097	Rp	84.205.432
2044	Rp	47.990.407	Rp	82.877.564
2045	Rp	48.439.722	Rp	81.605.127
2046	Rp	48.921.245	Rp	81.304.252
2047	Rp	49.431.685	Rp	81.999.312
2048	Rp	49.968.171	Rp	82.778.485

Aset yang dianalisis merupakan bagian dari sistem pembangkit sehingga diasumsikan memiliki *planning horizon* yang sama dengan sistem pembangkit. Proyeksi umur pembangkit yang telah disepakati adalah sampai dengan tahun 2056 sehingga *planning horizon* yang digunakan adalah 36 tahun. Gambar 4.3 menunjukkan alternatif penggantian yang dapat disusun selama 36 tahun.



Gambar 4. 3 Alternatif Penggantian pada *Finite Planning Horizon*

Langkah selanjutnya adalah dengan melakukan perhitungan *present worth* untuk mendapatkan alternatif dengan nilai minimum. Persaman 4.16 menunjukkan salah satu contoh perhitungan *present worth* pada alternatif 3 yaitu dengan mempertahankan *defender* selama 2 tahun dilanjutkan penggunaan *challenger* sampai akhir *planning horizon*.

$$PW(10\%)_2 = Rp64.744.730 (P/A, 10\%, 2) + Rp87.816.499 (P/A, 10\%, 34)(P/F, 10\%, 2) \quad (4.16)$$

Rekapitulasi perhitungan *present worth* pada 36 alternatif ditunjukkan seperti Tabel 4.11 di bawah ini.

Tabel 4.11 Rekap Perhitungan *Present Worth* pada *Finite Planning Horizon* (Rp)

Alternatif	Tahun Penggunaan		<i>Present Worth</i>
	<i>Defender</i>	<i>Challenger</i>	
1	0	36	874.017.116
2	1	35	840.687.014
3	2	34	809.715.153
4	3	33	780.873.837
5	4	32	753.962.364
6	5	31	728.803.406

Alternatif	Tahun Penggunaan		Present Worth
	Defender	Challenger	
7	6	30	705.239.890
8	7	29	683.132.316
9	8	28	662.356.449
10	9	27	642.801.335
11	10	26	627.570.887
12	11	25	615.526.032
13	12	24	603.192.164
14	13	23	590.667.219
15	14	22	578.035.174
16	15	21	565.367.606
17	16	20	552.725.098
18	17	19	540.158.516
19	18	18	527.710.157
20	19	17	515.414.781
21	20	16	507.481.513
22	21	15	504.415.129
23	22	14	502.139.715
24	23	13	500.589.852
25	24	12	499.705.899
26	25	11	499.433.431
27	26	10	499.722.741
28	27	9	500.528.394
29	28	8	501.808.827
30	29	7	503.525.993
31	30	6	505.645.033
32	31	5	508.133.994
33	32	4	510.963.565
34	33	3	514.106.842
35	34	2	517.539.120
36	35	1	521.237.698
37	36	0	525.181.707

Berdasarkan Tabel 4.11 di atas didapatkan bahwa alternatif yang menghasilkan nilai *present worth* terkecil adalah alternatif 26 dengan mempertahankan *defender* selama 25 tahun dan dilanjutkan dengan penggunaan *challenger* sampai dengan akhir *planning horizon*.

Metode perhitungan di atas digunakan untuk membuat perencanaan selama jangka panjang dengan mengasumsikan tidak terjadi perubahan harga dan inflasi. Apabila selama *planning horizon* tersebut terjadi perubahan harga dan inflasi maka perlu dilakukan pendekatan berbeda yang akan dijelaskan pada bab selanjutnya.

BAB 5

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dilakukan pembahasan terhadap hasil pengumpulan dan pengolahan data yang telah dilakukan pada bab sebelumnya. Hasil pada tahap pengumpulan dan pengolahan data tersebut akan dijadikan dasar dalam merancang prosedur pada bab selanjutnya.

5.1 Analisis Kondisi Eksisting

Perhitungan LCC untuk analisis penggantian dilakukan pada beberapa jenis aset di PLTU 3 PT PJB Unit Pembangkit Gresik. Perhitungan pada beberapa aset berguna untuk menemukan karakteristik yang berbeda pada masing-masing aset. Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan bahwa semakin tinggi jumlah kegagalan, maka biaya operasi akan semakin meningkat. Besaran umur mesin juga mempengaruhi perhitungan LCC pada analisis pengantian. Semakin lama umur mesin maka menyebabkan nilai *annual acquisition cost* semakin kecil karena aset digunakan lebih lama. Beberapa aset pada PLTU 3 sudah melampaui umur teknis karena diakuisi sejak tahun 1989. Hanya beberapa jenis aset seperti *generator transformer, ABC control panel, gas main burner, dan cons. voltage* yang diakuisisi pada di atas tahun 2000.

Perhitungan pada beberapa aset dengan tahun akuisisi 1989 dilakukan. Aset yang dihitung merupakan 9 aset dengan biaya *capital* tertinggi. Berdasarkan perhitungan tersebut didapatkan bahwa semua aset memiliki umur ekonomis pada tahun 2020. Tabel 5.1 menunjukkan rekap perhitungan umur ekonomis pada aset dengan *capital cost* tertinggi.

Tabel 5.1 Rekap Perhitungan Umur Ekonomis pada 9 Aset dengan *Capital Cost* Tertinggi

No	No Asset	Nama Asset	Min EUAC	Umur Ekonomis
1	GU0007	<i>Generator Transformer # 3</i>	5.979.881.142	2020
2	GU0284	<i>Economizer System #3</i>	8.621.816.085	2020
3	GU0288	<i>Evaporator System #3</i>	9.465.471.997	2020

No	No Asset	Nama Asset	Min EUAC	Umur Ekonomis
4	GU0292	<i>Superheater System # 3</i>	8.586.819.673	2020
5	GU0294	<i>Reheater System #3</i>	8.980.545.099	2020
6	GU0396	<i>Stack 3/4</i>	12.497.940.647	2020
7	GU0506	<i>HP & IP Turbine #3</i>	21.273.753.360	2020
8	GU0508	<i>LP Turbine # 3</i>	21.269.798.502	2020
9	GU0556	<i>Generator # 3</i>	53.134.829.704	2020

Perhitungan kembali dilakukan untuk menemukan aset dengan umur ekonomis di atas 2020 dan didapatkan aset *constant voltage* memiliki umur ekonomis 2039. Aset *generator transformer* dan *constant voltage* dipilih karena dianggap mewakili pola keseluruhan aset pada PLTU 3. Alasan pemilihan *generator transformer* adalah karena memiliki umur ekonomis pada tahun 2020, *capital cost* yang besar, dan mendapatkan *overhaul maintenance*. Selanjutnya kedua aset tersebut digunakan untuk membangun data *artificial* dalam menemukan skenario.

5.2 Pengaruh Penggunaan *Sunk Cost* terhadap Perhitungan

Perhitungan LCC untuk analisis penggantian dilakukan oleh PT PJB sejak tahun 2001 hingga 2056 sehingga *sunk cost* ikut dilibatkan dalam perhitungan. *Sunk cost* merupakan biaya tidak relevan yang terjadi pada masa lalu dan mewakili hasil keputusan yang diambil di masa lalu. *Sunk cost* pada perhitungan tersebut adalah biaya investasi pada tahun akuisisi. Dalam analisis penggantian, konsep *sunk cost* diabaikan karena hanya mempertimbangkan biaya dan kondisi pada masa mendatang. Selain itu, penggunaan *sunk cost* juga memberikan hasil perhitungan yang kurang tepat dan menguntungkan alternatif mempertahankan *defender*. Oleh karena itu, *first cost* yang digunakan pada analisis penggantian adalah nilai sisa *defender* saat ini. Tabel 5.2, 5.3, 5.4 dan 5.5 menunjukkan perbandingan perhitungan EUAC dengan menggunakan $t =$ tahun akuisisi atau $t =$ saat ini (2020) berdasarkan data historis 2001-2016.

Tabel 5.2 Perhitungan EUAC pada *Constant Voltage Panel* dengan $t =$ Tahun Akuisisi (Rp)

Tahun	Umur	Biaya Tahunan O&M	Biaya Tahunan Akuisisi	EUAC
2012	0			
2020	8	6.146.640	61.872.193	68.018.833
2021	9	6.419.563	60.244.489	66.664.053
:	:	:	:	:
2038	26	11.789.800	34.962.406	46.752.206
2039	27	12.144.803	34.137.680	46.282.484
2040	28	12.503.301	33.883.320	46.386.622

Tabel 5.3 Perhitungan EUAC pada *Constant Voltage Panel* dengan $t = 2020$ (Rp)

Tahun	Umur	Biaya Tahunan O&M	Biaya Tahunan Akuisisi	EUAC
2019	0			
2020	1	8.957.086	57.117.713	66.074.799
2021	2	9.383.614	55.361.116	64.744.730
:	:	:	:	:
2037	18	17.871.374	29.686.265	47.557.638
2038	19	18.495.491	28.218.417	46.713.908
2039	20	19.129.018	27.255.414	46.384.432
2040	21	19.771.645	26.829.565	46.601.211

Tabel 5.4 Perhitungan EUAC pada *Generator Transformer* dengan $t =$ Tahun Akuisisi (Rp)

Tahun	Umur	Biaya Tahunan O&M	Biaya Tahunan Akuisisi	EUAC
2002	0			
2003	1	1.568.154.067	2.693.094.134	4.261.248.201
2004	2	1.643.416.689	2.628.972.845	4.272.389.534
2005	3	1.676.056.942	2.565.538.949	4.241.595.891
2006	4	1.700.074.338	2.502.789.336	4.202.863.675
2007	5	1.721.927.673	2.440.719.680	4.162.647.353
2008	6	1.755.723.212	2.379.324.465	4.135.047.677
2009	7	1.781.907.053	2.318.597.023	4.100.504.076
2010	8	1.916.782.809	2.258.529.575	4.175.312.384
:	:	:	:	:
2020	20	2.449.926.324	1.691.760.035	4.141.686.359

Tahun	Umur	Biaya Tahunan O&M	Biaya Tahunan Akuisisi	EUAC
2021	21	2.507.539.911	1.638.178.971	4.145.718.882
2022	22	2.573.047.893	1.585.099.823	4.158.147.716

Tabel 5.5 Perhitungan EUAC pada *Generator Transformer* dengan $t = 2020$ (Rp)

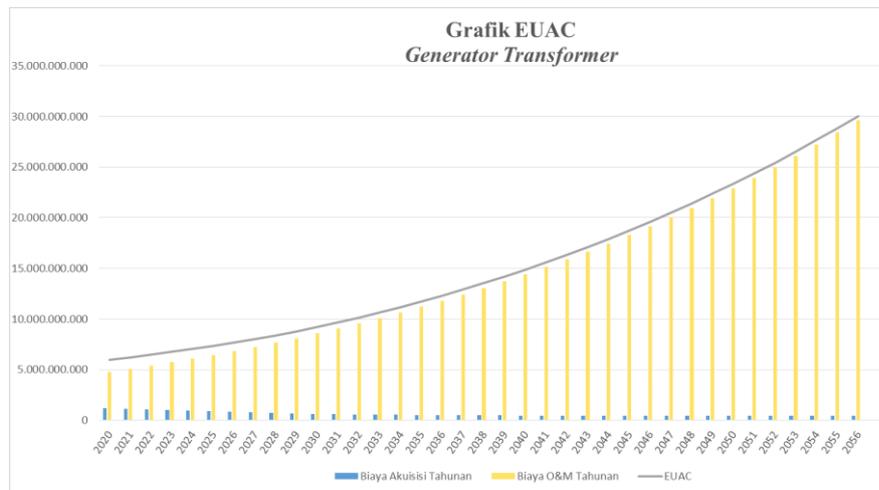
Tahun	Umur	Biaya Tahunan O&M	Biaya Tahunan Akuisisi	EUAC
2019	0			
2020	1	4.763.645.082	1.216.236.060	5.979.881.142
2021	2	5.065.425.993	1.152.114.771	6.217.540.764
2022	3	5.426.176.319	1.088.680.876	6.514.857.195
2023	4	5.749.996.659	1.025.931.263	6.775.927.922
2024	5	6.094.112.269	963.861.606	7.057.973.875

Umur Ekonomis

Berdasarkan tabel di atas, didapatkan bahwa aset *constant voltage panel* memiliki umur ekonomis pada tahun 2039 dihitung dengan menggunakan $t =$ tahun akuisisi atau $t =$ saat ini (2020) dengan EUAC masing-masing Rp 46.282.484 dan Rp 46.384.432. Meskipun memiliki umur ekonomis pada tahun yang sama, EUAC (*sunk cost*) < EUAC (tanpa *sunkcost*). Hal tersebut menyebabkan hasil perhitungan menjadi kurang tepat.

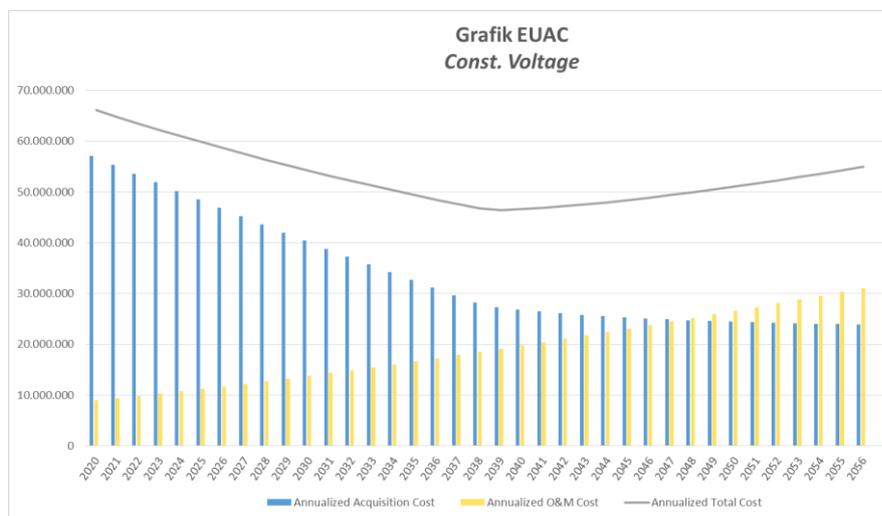
Umur ekonomis *generator transformer* terletak pada tahun 2009 sehingga pada tahun 2020 harus kembali dilakukan perhitungan. Berdasarkan perhitungan pada tahun 2020 didapatkan bahwa umur ekonomis jatuh pada tahun 2020 dengan nilai minimum EUAC Rp 5.979.881.142. Gambar 5.1 merupakan grafik EUAC *generator transformer* yang telah menunjukkan kurva peningkatan. Hal tersebut terjadi karena aset telah digunakan sejak tahun 2002 sehingga biaya O&M cenderung meningkat tajam dan biaya akuisisi yang menunjukkan penurunan. Perhitungan tersebut menggunakan masa manfaat 26,5 yang merupakan nilai maksimum dari masa manfaat mesin di industri pembangkit, sehingga umur ekonomis *generator transformer* terjadi sebelum masa manfaat usai yaitu pada tahun ke-18. Berdasarkan analisis di atas penggunaan *sunk cost* dalam perhitungan

hanya digunakan untuk mengetahui *behavior* dari aset dan digunakan untuk membangun *decision* dalam prosedur *planning* pada bagian b dan c.



Gambar 5. 1 Grafik EUAC *Generator Transformer*

Gambar 5.2 merupakan grafik EUAC *constant voltage* dengan $t=2020$. Grafik tersebut menunjukkan kurva cekung dengan nilai minimum EUAC pada tahun 2039.



Gambar 5. 2 Grafik EUAC *Constant Voltage*

Berdasarkan analisis di atas maka diperoleh hasil sebagai berikut.

HASIL 1. *Melibatkan sunk cost dalam perhitungan dapat menyebabkan bad decision sehingga sunk cost tidak diperhitungkan dalam analisis penggantian.*

5.3 Pengaruh Berbagai Kejadian pada *Challenger*

Analisis penggantian dilakukan dengan membandingkan antara *defender* dan *challenger*. Apabila *challenger* dinilai lebih baik dan menghasilkan biaya yang lebih minimum daripada *defender*, maka penggantian kemudian dilakukan. Pada praktiknya, analisis penggantian tidak hanya mempertimbangkan umur ekonomis. Hal tersebut disebabkan karena bervariasinya kondisi yang muncul sehingga asumsi-asumsi pada analisis penggantian tidak dapat digunakan. Pada sub bab ini menjabarkan kejadian-kejadian yang akan muncul ketika adanya analisis penggantian. Data yang digunakan pada analisis ini adalah data *artificial* pada aset *generator transformer* dan *constant voltage*.

5.3.1 Apabila Asumsi *Repeatability* Tidak Berlaku

Pada analisis penggantian terdapat beberapa asumsi yang sering digunakan, salah satunya adalah asumsi *repeatability*. Pada asumsi ini melibatkan dua ketentuan utama yaitu:

1. *Planning horizon* yang diperlukan untuk membandingkan alternatif memiliki panjang yang tak terbatas atau panjang yang sama dengan kelipatan persekutuan terkecil dari umur ekonomis alternatif tersebut.
2. Segala sesuatu yang terjadi pada *defender* akan terjadi di semua alternatif berikutnya untuk semua alternatif.

Secara praktiknya, ketentuan dua tidak mungkin dapat diterima dikarenakan adanya pengaruh inflasi yang menimbulkan *time value of money*. Selain itu, asumsi ini tidak dapat diimplementasikan di PT PJB karena adanya *planning horizon* sampai dengan tahun 2056 dan panjang umur ekonomis *challenger* yang memiliki panjang yang tidak sama dengan sisa *planning horizon*.

Tabel 5.6 menunjukkan aset yang di akuisisi pada tahun 2012 dan memiliki biaya investasi Rp 315.337.372, ketika dilakukan perhitungan EUAC pada $t = 2012$ didapatkan bahwa umur ekonomis dari aset tersebut adalah 27 tahun. Apabila menggunakan asumsi *repeatability*, ketika umur aset mencapai 27 tahun (2039) dilakukan penggantian dengan aset yang sama sampai dengan 27 tahun selanjutnya.

Tabel 5.6 Perhitungan dengan Menggunakan Asumsi *Repeatability* pada $t =$ Tahun Akuisisi (Rp)

Tahun	Umur	Biaya Tahunan O&M	Biaya Tahunan Akuisisi	EUAC
2012	0	315.337.372 (Biaya Investasi Awal)		
2020	8	6.146.640	61.872.193	68.018.833
...
2038	26	11.789.800	34.962.406	46.752.206
2039	27	12.144.803	34.137.680	46.282.484
2040	28	12.503.301	33.883.320	46.386.622

Tabel 5.7 menunjukkan perhitungan EUAC dengan biaya investasi yang mengalami *time value of money* dari tahun 2012. Hasil perhitungan tersebut menunjukkan bahwa umur ekonomis dari aset bergeser menjadi 26 tahun. Perhitungan tersebut menunjukkan asumsi *repeatability* tidak dapat diimplementasikan karena pengaruh *time value of money* yang bisa merubah komponen perhitungan.

Tabel 5.7 Perhitungan dengan Menggunakan Asumsi *Repeatability* pada $t =$ 2020 (Rp)

Tahun	Umur	Biaya Tahunan O&M	Biaya Tahunan Akuisisi	EUAC
2019	0	Rp529.148.618 (Biaya Investasi Awal)		
2020	1	8.992.881	123.800.809	132.793.690
...
2044	25	32.837.478	60.985.912	93.823.390
2045	26	34.405.233	58.668.305	93.073.538
2046	27	36.029.805	57.284.382	93.314.186

Berdasarkan analisis di atas maka diperoleh hasil sebagai berikut.

HASIL 1. Asumsi repeatability yang biasanya digunakan dalam analisis penggantian tidak berlaku apabila terjadi perubahan data biaya O&M atau capital recovery.

HASIL 2. Apabila asumsi repeatability tidak dapat digunakan maka lakukan tracking terhadap adanya perubahan data yang terjadi. Setelah tracking, dilakukan perhitungan LCC untuk mendapatkan umur ekonomis kemudian lakukan analisis

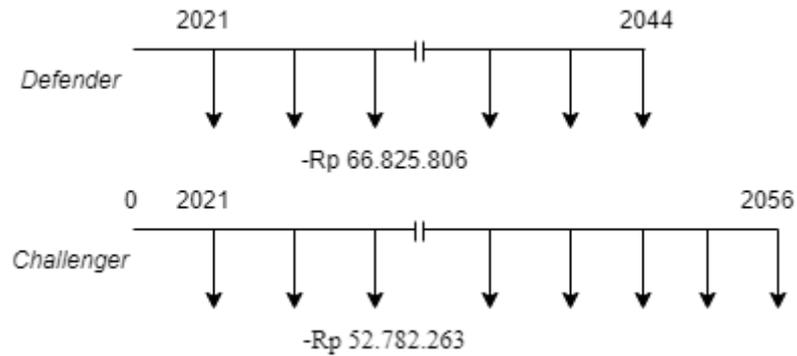
penggantian. Tahapan pada analisis penggantian apabila asumsi repeatability tidak berlaku akan dijelaskan pada bagian c dan e (prosedur tracking).

5.3.2 Adanya Potensial Challenger

Perubahan teknologi perlu dilibatkan dalam membuat keputusan jangka panjang pada analisis penggantian. Analisis penggantian dilakukan mendekati umur ekonomis aset untuk mengetahui keputusan yang tepat baik *keep*, *improve*, maupun *replace*. Namun tidak menutup kemungkinan selama masa penggunaan *defender*, terdapat *challenger* yang dinilai lebih baik dari segi teknologi dan mampu menghasilkan biaya tahunan yang lebih rendah daripada mempertahankan *defender*. Asumsi yang digunakan adalah apabila *challenger* selalu tersedia dan tidak mengalami perubahan nilai. Tabel 5.8 menunjukkan salah satu kasus yang dapat terjadi antara *defender* dan *challenger*. *Defender* telah digunakan sejak tahun 2012 dan mempunyai umur ekonomis pada tahun 2044. Pada tahun 2020, terdapat *challenger* yang memiliki performa yang lebih baik dan biaya tahunan yang dibutuhkan untuk mengoperasikan *challenger* sebesar Rp52.779.432. Meskipun *defender* baru saja digunakan selama 8 tahun, tidak menutup kemungkinan untuk mengorbankan *defender* dan menggantinya dengan *challenger* untuk menghasilkan biaya minimum. Gambar 5.3 menunjukkan ilustrasi bahwa $EUAC\ challenger < EUAC\ defender$ akibat adanya potensial *challenger*.

Tabel 5.8 Perhitungan EUAC dengan Adanya Potensial Challenger Sebelum Umur Ekonomis Defender (Rp)

Tahun	Defender		Challenger	
	Umur	EUAC	Umur	EUAC
2012	0			
2020	8	67.901.141	0	
2021	9	67.499.282	1	112.020.253
...
2043	31	66.877.871	23	61.100.747
2044	32	66.825.806	24	59.078.151
2045	33	R66.835.948	25	57.076.486
2056			36	52.779.432
2057			37	52.782.263



Gambar 5. 3 Ilustrasi Pengaruh Potensial *Challenger*

Pendekatan yang dilakukan adalah mencari biaya minimum yang dihasilkan dari keputusan penggantian. Biaya minimum didapatkan dengan menghitung *present worth* sampai dengan *planning horizon*. Alternatif yang tersedia apabila kasus ini terjadi adalah mengganti aset *defender* dengan *challenger* tahun ini atau mengganti *defender* pada saat umur ekonomis.

Apabila terjadi perubahan nilai di kemudian hari, maka langkah yang dianjurkan adalah seperti kejadian I yaitu melakukan *tracking* untuk kembali melakukan analisis penggantian. Tabel 5.9 menunjukkan hasil perhitungan alternatif penggantian aset. Pada alternatif pertama, penggantian dilakukan pada tahun 2020, sedangkan pada alternatif ke 2 penggantian dilakukan pada akhir umur ekonomis *defender*. Kemungkinan alternatif yang terjadi dapat lebih dari 2, namun pada bab ini hanya menampilkan opsi alternatif dengan dua nilai paling minimum.

Tabel 5.9 Perbandingan *Present Worth* Alternatif Penggantian Aset

Alternatif	Tahun	<i>Defender</i>	<i>Challenger</i>	<i>Present Worth</i>
1	2020	0	36	Rp510.720.606,16
2	2044	25	11	Rp658.866.628,90

Berdasarkan analisis di atas maka diperoleh hasil sebagai berikut.

HASIL 1. Ketika terdapat potensial *challenger* maka hitung *EUAC challenger* dan bandingkan dengan *EUAC defender*. Apabila $EUAC defender > EUAC challenger$ maka hitung alternatif penggantian dengan menggunakan *present worth*. Tahapan dalam analisis penggantian dengan kasus ini akan dijelaskan pada bagian b-e (*prosedur analisis penggantian*).

Penggantian aset *defender* sebelum masa manfaat sangat mungkin dilakukan. Meskipun mesin pembangkit dan komponennya adalah termasuk barang milik negara yang tata cara penghapusan dan kepemilikannya telah diatur oleh undang-undang kepemilikan BMN. Barang milik negara (BMN) dapat dihapuskan apabila memenuhi beberapa persyaratan teknis seperti tidak dapat digunakan karena modernisasi, telah melampaui batas waktu kegunaan, mengalami perubahan spesifikasi penggunaan. Apabila lebih menguntungkan bagi negara jika barang dihapus (tidak digunakan kembali), karena biaya operasional dan pemeliharaan barang lebih besar daripada manfaat yang diperoleh maka diperbolehkan untuk menghapus BMN tersebut (BPK Makassar, 2015).

5.3.3 Multiple Challenger

Dalam analisis penggantian, terdapat beberapa kondisi di mana tersedia beberapa alternatif *challenger*. Apabila *challenger* memiliki umur ekonomis yang sama maka pemilihan dapat dilaksanakan dengan mudah, namun pada praktiknya alternatif tersebut memiliki umur ekonomis yang berbeda (*unequal service*).

Apabila terdapat beberapa alternatif *challenger* dengan umur ekonomis yang sama maka minimum EUAC dibandingkan untuk mendapatkan *challenger* terbaik (Park, 2012). Tabel 5.10 menunjukkan contoh kasus apabila terdapat beberapa alternatif *challenger*. Ketiga mesin tersebut memiliki kualitas yang relatif sama. Mesin china memiliki harga yang lebih murah namun dengan kenaikan biaya pemeliharaan sebesar 10% setiap tahunnya. Kenaikan biaya pemeliharaan tersebut disebabkan karena frekuensi kerusakan mesin merk China yang lebih sering daripada kedua mesin lainnya.

Tabel 5.10 Perbandingan Beberapa Alternatif *Challenger* (Rp)

Mesin	Merk Mesin		
	Jenbacher	MTU	China
Biaya Investasi	10.251.174.751	13.180.081.591	9.224.984.927
Tingkat Inflasi	3%	3%	10%
<i>Asset Depreciation Range</i>	18	20	17
Min EUAC	1.535.381.096	1.974.061.374	1.662.926.295
Umur Ekonomis	2040	2040	2036

Sumber: PT PJB Unit Pembangkit Gresik (2019)

Berdasarkan perhitungan umur ekonomis pada ketiga mesin didapatkan bahwa mesin merk Jenbacher dan MTU memiliki umur ekonomis yang sama. Oleh karena itu, mesin merk Jenbacher lebih baik dari merk MTU karena memiliki nilai minimum EUAC yang lebih rendah.

Selanjutnya dilakukan perbandingan antara mesin merk Jenbacher dan mesin dari China. Keduanya memiliki umur ekonomis dan minimum EUAC yang berbeda. Pendekatan yang dilakukan adalah mencari kombinasi yang tepat antara mesin tersebut selama sisa *planning horizon* sehingga menghasilkan biaya minimum. Alasan penggunaan pendekatan ini karena *planning horizon* bersifat terbatas dan alternatif yang dipilih merupakan alternatif yang terbaik pada *planning horizon* yang telah ditentukan. Perhitungan ini dilakukan dengan asumsi bahwa di kemudian hari, aset yang digunakan adalah sama dan tidak mengalami perubahan. Namun, apabila terjadi perubahan aset dan harga maka *tracking* dan analisis penggantian harus kembali dilakukan. Tabel 5.11 dan Tabel 5.12 menunjukkan perhitungan *present worth* pada mesin jenbacher dan china.

Tabel 5.11 *Present Worth* Alternatif Penggunaan Mesin Merk Jenbacher

Alternatif	Tahun Penggunaan		<i>Present Worth</i>
	Jenbacher	Jenbacher	
1	0	36	Rp62.994.079.545,64
2	1	35	Rp60.371.429.310,38
3	2	34	Rp62.961.777.152,01
:	:	:	:
20	19	17	Rp58.655.805.130,25
21	20	16	Rp58.431.770.132,09
22	21	15	Rp58.966.524.136,11
:	:	:	:
35	34	2	Rp62.961.777.152,01
36	35	1	Rp62.999.112.888,16
37	36	0	Rp62.994.079.545,64

Tabel 5.12 *Present Worth* Alternatif Penggunaan Mesin dari China

Alternatif	Tahun Penggunaan		<i>Present Worth</i>
	China	China	
1	0	36	Rp147.247.104.156,93

Alternatif	Tahun Penggunaan		<i>Present Worth</i>
	China	China	
2	1	35	Rp133.287.913.027,68
3	2	34	Rp125.537.930.189,98
:	:	:	:
18	17	19	Rp61.014.896.374,81
19	18	18	Rp60.803.861.388,54
20	19	17	Rp61.014.896.374,81
:	:	:	:
35	34	2	Rp125.537.930.189,98
36	35	1	Rp135.732.913.885,66
37	36	0	Rp147.247.104.156,93

Pada mesin Jenbacher, alternatif yang memiliki *present worth* terkecil adalah menggunakan mesin pada 20 tahun pertama untuk kemudian digunakan kembali selama 16 tahun hingga akhir *planning horizon*. Pada mesin dari China, mempertahankan mesin selama 18 tahun pertama dan 18 tahun berikutnya adalah alternatif terbaik daripada alternatif yang lain. Apabila kedua alternatif pada dua merk mesin yang berbeda dibandingkan, didapatkan bahwa penggunaan mesin merk Jenbacher menghasilkan *present worth* yang lebih kecil daripada mesin China.

Metode membandingkan alternatif dengan umur ekonomis yang berbeda ini hanya dapat digunakan menggunakan beberapa asumsi. Asumsi pertama adalah aset yang digunakan adalah sama dan tersedia selama *planning horizon*. Asumsi yang kedua adalah tidak terjadi perubahan biaya selama *planning horizon*. Pada praktiknya, kedua asumsi ini sulit untuk dipenuhi karena adanya ketidakpastian di masa yang akan datang. Oleh karena itu metode ini hanya digunakan pada saat perencanaan, dan akan diperbarui melalui kontrol untuk mengetahui adanya berbagai perubahan.

Kemudian, ketika umur aset mendekati umur ekonomis maka dapat dilakukan revisi dari analisis tersebut. Pendekatan ini cukup masuk akal, karena analisis ekonomi adalah kegiatan yang berkelanjutan dalam kehidupan perusahaan dan proyek investasi, dan harus selalu menggunakan data terbaru yang paling andal yang dapat diperoleh secara wajar (Park, 2012).

Berdasarkan analisis di atas maka diperoleh hasil sebagai berikut.

HASIL 1. Alternatif challenger dengan umur yang sama dipilih berdasarkan alternatif yang memiliki EUAC terkecil.

HASIL 2. Pada alternatif challenger dengan umur berbeda dilakukan perbandingan alternatif dengan present worth. Keputusan terbaik dipilih berdasarkan nilai present worth terkecil.

HASIL 3. Metode pada hasil 1 dan 2 digunakan pada perencanaan, ketika terjadi perubahan data maka harus dilakukan tracking. Hasil pada kasus ini akan dijelaskan pada bagian e (prosedur planning) dan f (prosedur tracking).

5.4 Rolling Planning Horizon

LCC merupakan metode untuk mengevaluasi konsekuensi ekonomi pada aset selama masa pakainya. LCCA digunakan untuk mengetahui keputusan yang tepat pada penggantian. Pendekatan biaya yang ada pada LCC pada umumnya adalah estimasi dan bersifat statis. Hal tersebut menyebabkan sebagian besar perhitungan LCC hanya dilakukan satu kali pada saat pembelian aset.

Percobaan dilakukan untuk mengetahui apakah umur ekonomis pada tahun berjalan bersifat tetap sesuai dengan perhitungan pada awal pembelian aset. Data yang digunakan pada percobaan adalah data *artificial* yang dibangun untuk menemukan kemungkinan kejadian. Tabel 5.13 menunjukkan rekap tabel hasil perhitungan EUAC selama tahun berjalan.

Tabel 5.13 Rekap Perhitungan EUAC pada Tahun Berjalan (Rp)

2020	2021	...	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
28,05	27,8	...	26,7	26,6	26,5	26,48	26,44	26,42	26,41	26,42
	28,02	...	27,07	27,01	26,9	26,95	26,94	269,56	26,98	27,02
		...	27,4	27,4	27,4	27,45	27,48	27,53	27,59	27,68
		...	27,921	279,26	27,95	27,99	28,06	28,15	28,26	28,38

 Umur Ekonomis

Percobaan perhitungan dilakukan pada tahun berjalan dengan parameter komponen biaya lainnya bersifat tetap. Perhitungan dimulai pada $t = 2020$ dan didapatkan umur ekonomis berada pada tahun 2034. Namun pada $t = 2021$

diketahui bahwa umur ekonomis mengalami pergeseran hingga ke tahun 2032. Beberapa percobaan juga dilakukan dengan menggunakan *input data* yang berbeda untuk membuktikan apakah dengan parameter komponen biaya yang tetap dapat menyebabkan umur ekonomis bergeser. Tabel 5.14 menunjukkan rekap data perbandingan beberapa percobaan dengan *input data* yang berbeda pada tahun berjalan.

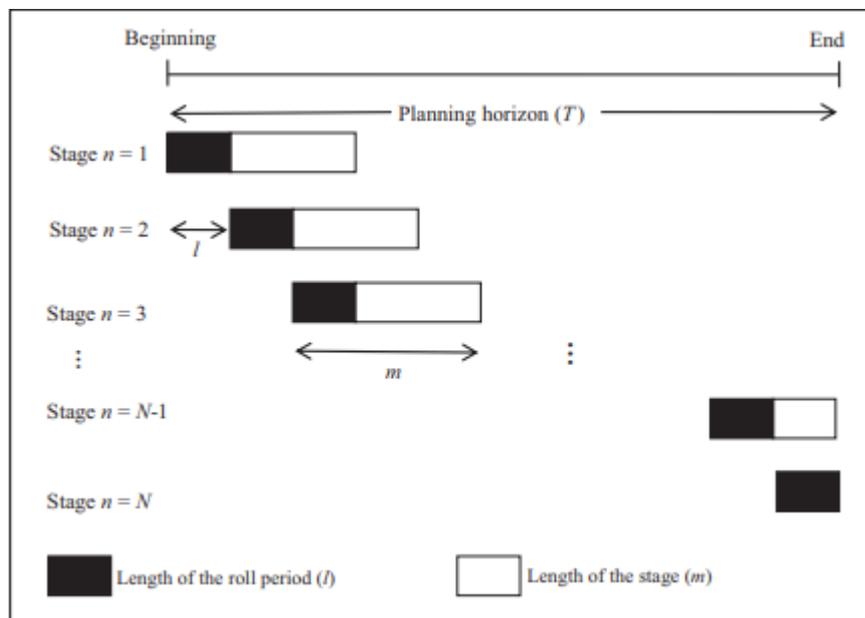
Tabel 5.14 Rekap Data Perbandingan Beberapa Percobaan pada Tahun Berjalan

Tahun Perhitungan Umur Ekonomis	Umur Ekonomis (Tahun)			
	Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3	Percobaan 4
2020	2045	2034	2039	2046
2021	2045	2032	2039	2046
2022	2044	2030	2039	2046
2023	2044	2028	2039	2045
2024	2044	2027	2039	2045
2025	2044		2039	2045
2026	2044		2039	2045
2027	2044		2039	2045
2028	2043		2039	2045
2029	2043		2039	2045
2030	2043		2039	2043
2031	2043		2039	2042
2032	2043		2038	2041
2033	2043		2039	2040
2034	2043		2037	2038
2035	2043			2037
2036	2042			2037
2037	2042			
2038	2042			
2039	2041			

Percobaan di atas dijalankan tanpa merubah beberapa parameter biaya lainnya seperti biaya pemeliharaan, operasi, inflasi, dan sebagainya yang merupakan biaya estimasi. Berdasarkan Tabel 5.14 didapatkan bahwa pada setiap aset mengalami pergeseran umur ekonomis semakin cepat setiap tahunnya. Umur ekonomis pada saat akuisisi berpotensi bergeser sehingga perhitungan umur ekonomis tidak dapat dilakukan hanya satu kali saja. Penyebab perbedaan

perhitungan tersebut dikarenakan, pada setiap tahun berjalan memiliki komponen perhitungan yang berbeda sehingga memungkinkan terjadinya pergeseran.

Dalam rangka mengakomodir adanya perubahan biaya yang terjadi maka digunakan RPH. RPH adalah metode yang digunakan sebagai *controlling* terhadap adanya perubahan biaya terhadap estimasi yang dilakukan. Alasan penggunaan RPH adalah karena ketepatan estimasi menurun seiring dengan panjangnya *planning horizon*. Estimasi jangka pendek biasanya lebih baik untuk digunakan daripada estimasi jangka panjang. Gambar 5.4 menunjukkan ilustrasi pendekatan RPH.

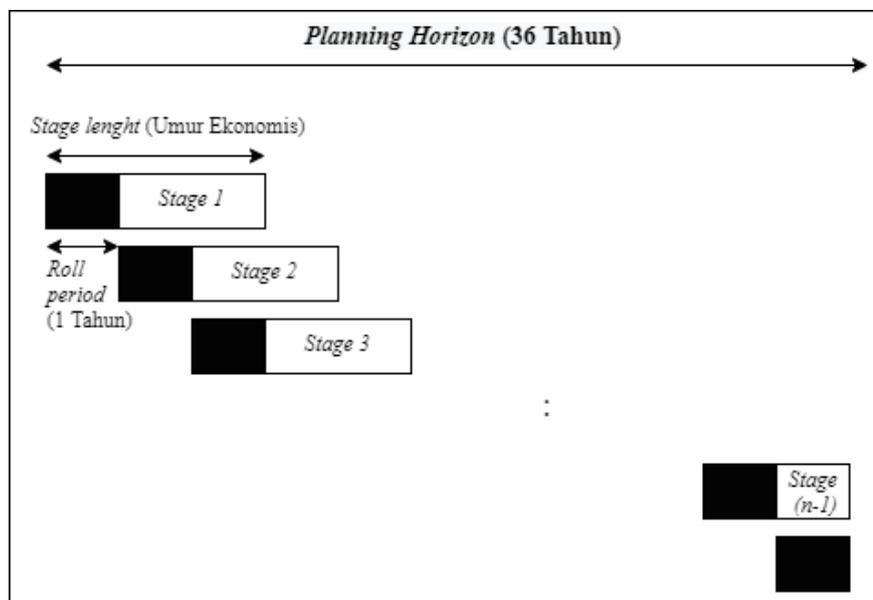


Gambar 5.4 Pendekatan *Rolling Planning Horizon* (Ying, et al., 2015)

RPH dijalankan selama *planning horizon* (T) yaitu selama 36 tahun atau sampai dengan 2056. Variabel (m) merupakan panjang dari RPH sedangkan kotak yang dihitamkan (l) merupakan tahap persiapan di mana tidak ada keputusan yang dapat dibuat. Setelah *stage* selesai maka periode yang telah berlalu (l) akan dihapus dan dipindahkan ke periode baru sehingga m akan tetap sama selama T . Panjang dari *roll period* (l) adalah satu tahun dikarenakan rekap data biasanya dilakukan secara tahunan untuk kemudian di evaluasi untuk tahun berikutnya. Panjang dari *stage* (m) ditentukan dengan melakukan analisis sensitivitas terhadap perubahan keputusan selama *planning horizon*. Ketika terdapat perbedaan antara data estimasi

dan riil maka dilakukan estimasi kembali sesuai dengan panjang *stage* yang telah ditentukan.

Berdasarkan percobaan yang dilakukan di atas maka m diusulkan sepanjang umur ekonomis. Hal tersebut dikarenakan dengan menggunakan m sepanjang umur ekonomis maka menghasilkan keputusan yang sama seperti menggunakan m sepanjang *planning horizon*. Namun analisis penggantian tidak dilakukan setiap tahun sepanjang *planning horizon* melainkan dilakukan pada saat akhir umur ekonomis dan ketika ada informasi potensial *challenger*. Gambar 5.5 menunjukkan ilustrasi *rolling planning horizon* pada penelitian ini.



Gambar 5.5 Ilustrasi *Rolling Planning Horizon*

Berbeda dari *roll period*, umur ekonomis tidak dihitung setiap tahun melainkan hanya pada titik titik tertentu. Titik-titik tersebut adalah setiap 5 tahun dan setiap tahun pada 5 tahun mendekati umur ekonomis sepanjang *planning horizon*. Pertimbangan untuk melakukan perhitungan umur ekonomis setiap 5 tahun sekali adalah sebagai fungsi *controlling* untuk mengantisipasi adanya pergeseran umur ekonomis. Sedangkan pertimbangan untuk menghitung umur ekonomis setiap tahun pada saat mendekati umur ekonomis adalah probabilitas terjadinya pergeseran umur ekonomis semakin besar ketika mendekati umur ekonomis. Oleh

karena itu, umur ekonomis harus diperbarui setiap tahun untuk mendapatkan perhitungan yang paling akurat demi menghindari kerugian biaya.

Berdasarkan analisis di atas maka diperoleh hasil sebagai berikut.

HASIL 1. Terdapat perbedaan umur ekonomis yang dihitung pada tahun berjalan dengan menggunakan komponen biaya tetap.

HASIL 2. RPH dilakukan dengan panjang roll period 1 tahun dan stage period sesuai umur ekonomis pada masing-masing aset. Setelah stage selesai maka periode yang telah berlalu dihapus dan dipindahkan ke periode baru.

HASIL 3. Umur ekonomis tidak hanya dihitung pada awal investasi aset melainkan setiap 5 tahun sekali selama sisa planning horizon dan setiap tahun pada 5 tahun mendekati umur ekonomis.

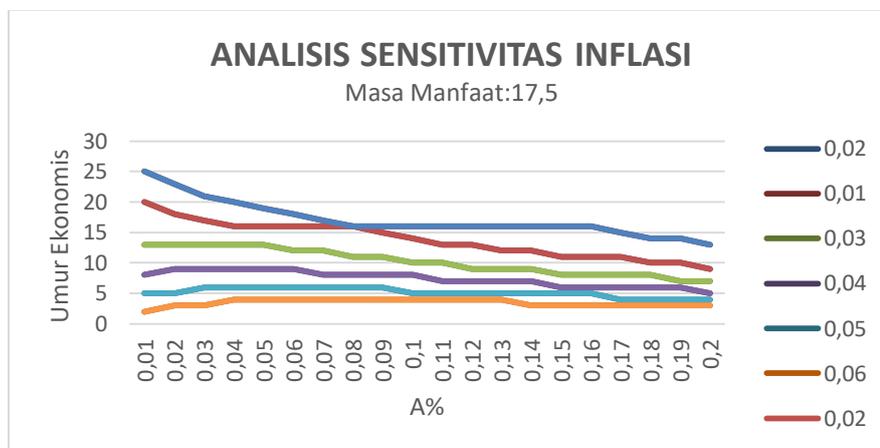
HASIL 4. Analisis penggantian dilakukan ketika mendekati umur ekonomis dan tersedianya potensial challenger.

RPH dilakukan sesuai dengan konsep *tracking* untuk mengetahui ketepatan estimasi yang telah direncanakan dan dilakukan setiap tahun. *Tracking* yang dilakukan adalah dengan melakukan pembaharuan kepada biaya O&M, inflasi, dan *capital recovery* aktual yang telah terjadi pada *roll period(l)*. Ketika terjadi pembaharuan data maka akan menyebabkan nilai estimasi yang telah diproyeksikan sebelumnya berubah sehingga dilakukan estimasi terhadap adanya data baru. Inflasi, biaya O&M serta *capital recovery* merupakan komponen LCC yang sangat berpengaruh terhadap perhitungan. Penjelasan masing-masing pengaruh parameter tersebut terhadap perhitungan umur ekonomis akan dijelaskan sebagai berikut.

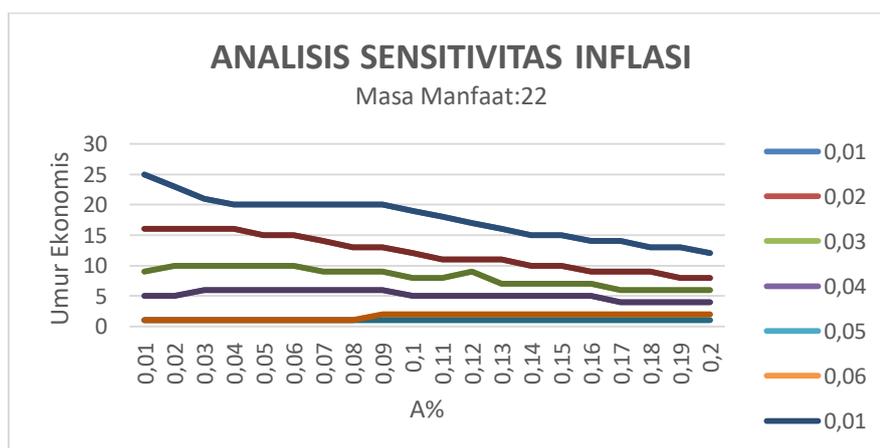
5.4.1 Pengaruh Inflasi

Inflasi didefinisikan sebagai waktu terjadinya kenaikan harga-harga barang, jasa, atau faktor produksi secara umum (Pujawan, 2009). Inflasi adalah faktor yang tidak dapat dikontrol oleh perusahaan sehingga perlu dilakukannya *tracking*. *Tracking* berguna untuk mengetahui perbedaan antara tingkat inflasi yang di estimasikan dengan kondisi riil. Perubahan inflasi dapat mempengaruhi biaya operasi dan pemeliharaan tahunan serta *capital recovery*. Beberapa skenario perubahan inflasi dihitung untuk beberapa sampel peralatan.

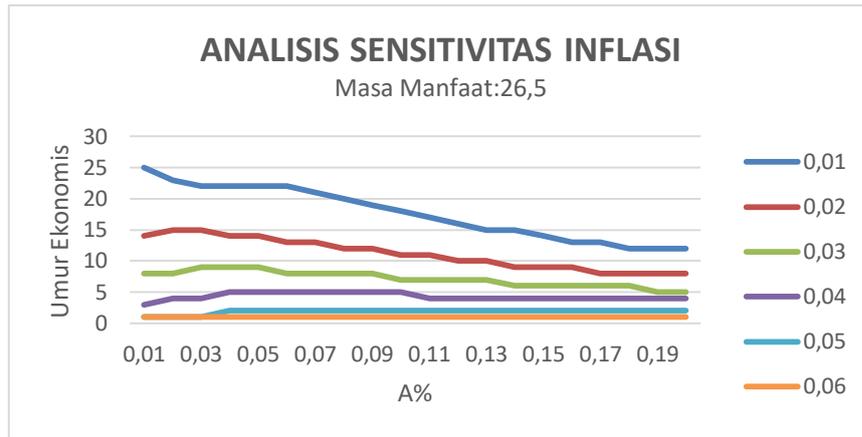
Variabel A menunjukkan persentase biaya pemeliharaan dan operasi terhadap biaya investasi tahunan. Semakin besar nilai A menyebabkan umur ekonomis semakin berkurang. Hal tersebut karena semakin besar biaya operasi dan pemeliharaan maka menyebabkan aset semakin cepat mencapai umur ekonomisnya. Analisis sensitivitas pada *challenger* di bawah ini dapat dijadikan pedoman terkait dengan umur ekonomis sebelum melakukan investasi aset. Gambar 5.6, 5.7, dan 5.8 menunjukkan diagram analisis sensitivitas inflasi yang menunjukkan pola menurun.



Gambar 5.6 Analisis Sensitivitas Inflasi (masa manfaat:17,5)



Gambar 5.7 Analisis Sensitivitas Inflasi (masa manfaat:22)



Gambar 5.8 Analisis Sensitivitas Inflasi (masa manfaat:26,5)

Tabel 5.15, 5.16, dan 5.17 menunjukkan analisis sensitivitas pada *challenger* yang menunjukkan hasil yang berbeda. Analisis sensitivitas tersebut telah diuji dengan memasukkan beberapa data yang berbeda. Berdasarkan perhitungan tersebut didapatkan bahwa masa manfaat/*asset depreciation range*, mempengaruhi pergeseran umur ekonomis. Semakin besar tingkat inflasi menyebabkan umur ekonomis bergeser semakin ke depan, hal tersebut disebabkan karena semakin besar inflasi maka menyebabkan biaya pemeliharaan dan operasi meningkat sehingga umur ekonomis bergeser ke depan.

Berdasarkan analisis di atas maka diperoleh hasil sebagai berikut.

HASIL 1. Perbedaan pada inflasi berpengaruh dalam menggeser umur ekonomis. Semakin tinggi inflasi dan biaya O&M menyebabkan aset semakin cepat dalam mencapai umur ekonomisnya.

Tabel 5.15 Analisis Sensitivitas Inflasi pada *Challenger* dengan *Asset Depreciation Range* 17,5

Depreciation Range		Tingkat Inflasi																			
16		0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,2
A	0,01	25	23	21	20	19	18	17	16	16	16	16	16	16	16	16	16	15	14	14	13
	0,02	20	18	17	16	16	16	16	16	15	14	13	13	12	12	11	11	11	10	10	9
	0,03	13	13	13	13	13	12	12	11	11	10	10	9	9	9	8	8	8	8	7	7
	0,04	8	9	9	9	9	9	8	8	8	8	7	7	7	7	6	6	6	6	6	5

Tabel 5.16 Analisis Sensitivitas Inflasi pada *Challenger* dengan *Asset Depreciation Range* 22

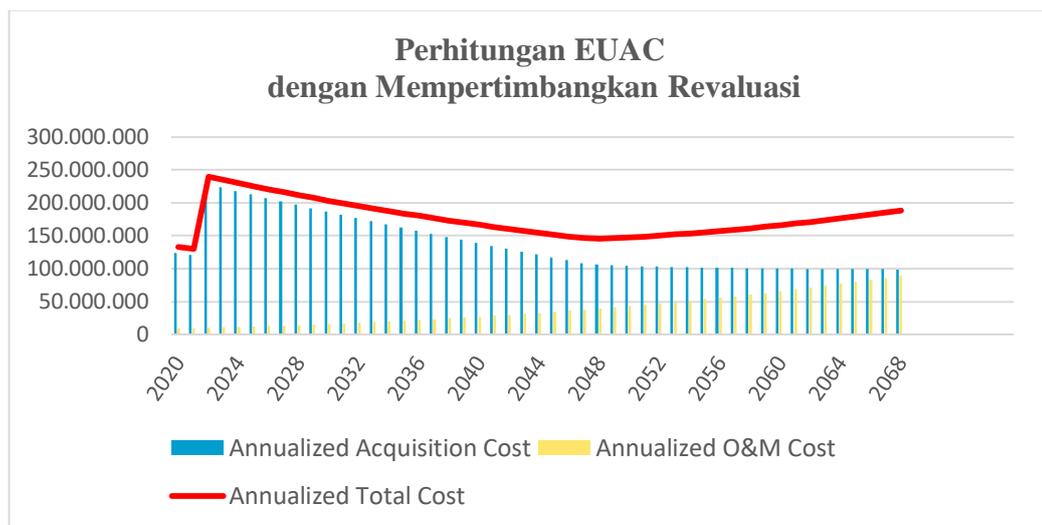
Depreciation Range		Tingkat Inflasi																			
20		0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,2
A	0,01	25	23	21	20	20	20	20	20	20	19	18	17	16	15	15	14	14	13	13	12
	0,02	16	16	16	16	15	15	14	13	13	12	11	11	11	10	10	9	9	9	8	8
	0,03	9	10	10	10	10	10	9	9	9	8	8	9	7	7	7	7	6	6	6	6
	0,04	5	5	6	6	6	6	6	6	6	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4

Tabel 5.17 Analisis Sensitivitas Inflasi pada *Challenger* dengan *Asset Depreciation Range* 26,5

Depreciation Range		Tingkat Inflasi																			
22		0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,2
A	0,01	25	23	22	22	22	22	21	20	19	18	17	16	15	15	14	13	13	12	12	12
	0,02	14	15	15	14	14	13	13	12	12	11	11	10	10	9	9	9	8	8	8	8
	0,03	8	8	9	9	9	8	8	8	8	7	7	7	7	6	6	6	6	6	5	5
	0,04	3	4	4	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

5.4.2 Pengaruh Revaluasi terhadap Biaya Capital Recovery

Pada data *capital recovery* penyebab perubahan dapat disebabkan karena mempertimbangkan revaluasi aset dalam perhitungan. Revaluasi aset merupakan peningkatan/penurunan nilai wajar aset. Apabila revaluasi aset dipertimbangkan dalam perhitungan maka dapat menyebabkan nilai *salvage value* meningkat. Peningkatan *salvage value* diikuti dengan peningkatan biaya *capital recovery*. Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan terjadinya penyesuaian terhadap peraturan mengenai revaluasi yang dikeluarkan oleh pemerintah, bahwa ketika terjadi revaluasi maka dasar penyusutan aset tetap adalah nilai pada saat revaluasi tetap serta masa manfaat aset tetap setelah revaluasi disesuaikan kembali menjadi manfaat penuh untuk kelompok aset tersebut (Ikatan Akuntan Indonesia, 2016). Gambar 5.9 menunjukkan ilustrasi perubahan perhitungan EUAC akibat mempertimbangkan konsep revaluasi aset.



Gambar 5.9 Ilustrasi Perubahan EUAC Akibat Mempertimbangkan Revaluasi

Ilustrasi tersebut menunjukkan bahwa nilai revaluasi > nilai sisa aset dapat menyebabkan bergesernya umur ekonomis menjadi semakin panjang daripada sebelum melakukan revaluasi aset. Oleh karena itu, diperoleh hasil sebagai berikut.
HASIL 1. *Revaluasi aset berpotensi menggeser umur ekonomis sehingga lakukan tracking ketika terjadi revaluasi aset selama sisa planning horizon. .*

5.4.3 Pengaruh Salvage Value terhadap Biaya Capital Recovery

Umur ekonomis terletak sebelum maupun sesudah umur teknis. Masalah menjadi kompleks apabila umur ekonomis kurang dari umur teknis dikarenakan aset pada PT PJB merupakan barang milik negara (BMN). Pada BMN menghentikan pemakaian *defender* sebelum umur teknis cukup sulit dilakukan, karena aset belum terdepresiasi total. Hal tersebut menyebabkan masih ada nilai sisa pada akhir umur ekonomis tersebut. Pada sub bab ini akan dipaparkan beberapa pendekatan tentang perhitungan dengan mempertimbangkan beberapa skenario *salvage value*.

5.4.3.1 Salvage Value dilibatkan dalam Perhitungan

Pada skenario pertama merupakan kondisi yang umum terjadi pada analisis penggantian yaitu melibatkan *salvage value* dalam perhitungan. Tabel 5.18 menunjukkan perhitungan EUAC *defender* dengan melibatkan *salvage value* yang bernilai > 0 dalam perhitungan.

Tabel 5.18 Perhitungan EUAC *Defender* dengan Melibatkan *Salvage Value* dalam Perhitungan (Rp)

<i>Defender</i>				
Tahun	<i>Salvage Value</i>	Biaya O&M Tahunan	Biaya <i>Capital Recovery</i>	EUAC
2020	132.084.711	13.435.629	34.270.628	47.706.257
2021	124.944.997	14.075.421	33.216.670	47.292.091
2022	117.805.282	14.734.542	32.174.011	46.908.553
2023	110.665.568	15.412.904	31.142.599	46.555.503
2024	103.525.854	16.110.387	30.122.364	46.232.751
2025	96.386.140	16.826.834	29.113.214	45.940.049
2026	89.246.426	17.562.059	28.115.041	45.677.100
2027	82.106.712	18.315.842	27.127.716	45.443.558
2028	74.966.998	19.087.935	26.151.094	45.239.029
2029	67.827.284	19.878.062	25.185.013	45.063.074
2030	60.687.570	20.685.917	24.229.295	44.915.212
2031	53.547.856	21.511.172	23.283.748	44.794.921
2032	46.408.142	22.353.477	22.348.168	44.701.644
2033	39.268.427	23.212.457	21.422.335	44.634.792
2034	32.128.713	24.087.721	20.506.020	44.593.742
2035	24.988.999	24.978.861	19.598.986	44.577.847

<i>Defender</i>				
Tahun	<i>Salvage Value</i>	Biaya O&M Tahunan	Biaya <i>Capital Recovery</i>	EUAC
2036	17.849.285	25.885.453	18.700.984	44.586.437
2037	10.709.571	26.807.060	17.811.759	44.618.819
2038	3.569.857	27.743.237	16.931.050	44.674.287
2039	-	28.693.527	16.353.249	45.046.775

Berdasarkan perhitungan di atas didapatkan bahwa minimum EUAC berada pada tahun 2035. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa umur ekonomis kurang dari umur teknis sehingga pada akhir umur ekonomis di tahun 2035 terdapat *salvage value* Rp 24.988.999. Nilai tersebut kemudian dibandingkan dengan EUAC *challenger* seperti yang tertera pada Tabel 5.19 di bawah ini.

Tabel 5.19 Perhitungan EUAC *Challenger* dengan *Salvage Value* dilibatkan dalam perhitungan (Rp)

<i>Challenger</i>				
Tahun	<i>Salvage Value</i>	Biaya O&M Tahunan	Biaya <i>Capital Recovery</i>	EUAC
2045	9.983.936	16.055.776	58.668.305	74.724.080
2046	-	16.813.909	57.284.382	74.098.291
2047	-	17.599.230	56.857.555	74.456.785

Berdasarkan perbandingan antara *min EUAC challenger* dan *defender*, diketahui bahwa *min EUAC defender* kurang dari *min EUAC challenger*. Hal tersebut menyebabkan munculnya alternatif untuk mempertahankan *defender*. Kemudian dilakukan perhitungan *marginal cost* untuk mengetahui waktu penggantian yang tepat. Perhitungan *marginal cost* ditunjukkan seperti pada Tabel 5.20 di bawah ini.

Tabel 5.20 Perhitungan *Marginal Cost* dengan *Salvage Value* dilibatkan dalam perhitungan (Rp)

Tahun	<i>Salvage Value</i> ($t-1$)	Biaya O&M(t)	<i>Salvage Value</i> (t)	<i>Marginal Cost Total</i>
2036	24.988.999	61.736.352	17.849.285	71.874.746
2037	17.849.285	67.909.988	10.709.571	77.191.616

Biaya yang dibutuhkan untuk mempertahankan *defender* hingga tahun 2037 adalah Rp 77.191.616, biaya tersebut lebih besar daripada EUAC *challenger* sehingga keputusannya adalah melakukan penggantian pada tahun 2036 yaitu satu tahun setelah umur ekonomis. Sedangkan apabila pada kondisi $EUAC\ defender > EUAC\ challenger$ maka keputusan yang dilakukan adalah melakukan penggantian pada umur ekonomis. Tabel 5.21 menunjukkan perhitungan LCC pada *challenger* dengan $EUAC\ challenger < EUAC\ defender$.

Tabel 5.21 Perhitungan EUAC *Challenger* dengan *Salvage Value* dilibatkan dalam perhitungan (Rp)

<i>Challenger</i>				
Tahun	<i>Salvage Value</i>	Biaya O&M Tahunan	Biaya <i>Capital Recovery</i>	EUAC
2047	-	5.315.312	39.231.713	44.547.025
2048	-	5.545.724	38.967.759	44.513.483
2049	-	5.784.503	38.730.864	44.515.367

5.4.3.2 *Salvage Value Defender Dibebankan pada Challenger*

Pada praktiknya, menjual *defender* sebelum umur teknis sangat sulit dilakukan. Hal tersebut disebabkan karena harus menghilangkan nilai sisa pada *defender*. Tabel 5.22 menunjukkan perhitungan EUAC *defender* dengan nilai sisa yang dihilangkan pada umur ekonomis.

Tabel 5.22 Perhitungan EUAC *Defender* dengan Tidak Melibatkan *Salvage Value* pada Umur Ekonomis

<i>Defender</i>				
Tahun	<i>Salvage Value</i>	Biaya O&M Tahunan	Biaya <i>Capital Recovery</i>	EUAC
2020	132.084.711	13.435.629	34.270.628	47.706.257
2021	124.944.997	14.075.421	33.216.670	47.292.091
2022	117.805.282	14.734.542	32.174.011	46.908.553
2023	110.665.568	15.412.904	31.142.599	46.555.503
2024	103.525.854	16.110.387	30.122.364	46.232.751
2025	96.386.140	16.826.834	29.113.214	45.940.049
2026	89.246.426	17.562.059	28.115.041	45.677.100

<i>Defender</i>				
Tahun	<i>Salvage Value</i>	Biaya O&M Tahunan	Biaya <i>Capital Recovery</i>	EUAC
2027	82.106.712	18.315.842	27.127.716	45.443.558
2028	74.966.998	19.087.935	26.151.094	45.239.029
2029	67.827.284	19.878.062	25.185.013	45.063.074
2030	60.687.570	20.685.917	24.229.295	44.915.212
2031	53.547.856	21.511.172	23.283.748	44.794.921
2032	46.408.142	22.353.477	22.348.168	44.701.644
2033	39.268.427	23.212.457	21.422.335	44.634.792
2034	32.128.713	24.087.721	20.506.020	44.593.742
2035	-	24.978.861	17.795.195	42.774.057
2036	-	25.885.453	17.356.292	43.241.745
2037	-	26.807.060	16.975.665	43.782.725
2038	-	27.743.237	16.643.844	44.387.081
2039	-	28.693.527	16.353.249	45.046.775

Berdasarkan perhitungan tersebut didapatkan bahwa nilai minimum EUAC berada di tahun 2035 sebesar Rp 42.774.057. Nilai tersebut berbeda dengan skenario 1, dikarenakan pada Tabel 5.23 *salvage value* yang seharusnya bernilai Rp 24.988.999 tidak dilibatkan dalam perhitungan dan menjadi beban *challenger*. Pertimbangan melibatkan *salvage value defender* dalam perhitungan *challenger* adalah agar keputusan penggantian tidak dilakukan dengan mudah dan aset pengganti merupakan aset terbaik yang sangat memberikan keuntungan bagi perusahaan. *Salvage value* tersebut kemudian ditambahkan pada biaya investasi *challenger*. Tabel 5.23 menunjukkan perhitungan EUAC *challenger* dengan penambahan *salvage value defender*.

Tabel 5.23 Perhitungan EUAC *Challenger* dengan Penambahan *Salvage Value Defender* (Rp)

<i>Challenger</i>				
Tahun	<i>Salvage Value</i>	Biaya O&M Tahunan	Biaya <i>Capital Recovery</i>	EUAC
2045	10.455.427	16.055.776	61.438.911	77.494.686
2046	-	16.813.909	59.989.632	76.803.541
2047	-	17.599.230	59.542.648	77.141.878

Minimum EUAC yang didapatkan dari hasil perhitungan adalah Rp 76.803.541 dengan umur ekonomis pada tahun 2046. Meskipun tidak terjadi pergeseran umur ekonomis pada *challenger*, namun terjadi perubahan nilai EUAC menjadi semakin meningkat. Hal tersebut disebabkan karena meningkatnya biaya *capital recovery* akibat peningkatan biaya investasi. Adanya peningkatan EUAC tersebut berpotensi merubah keputusan dalam analisis penggantian. Perubahan keputusan tersebut diketahui dengan melakukan perhitungan *marginal cost*. Tabel 5.24 merupakan perhitungan *marginal cost* pada skenario 2.

Tabel 5.24 Perhitungan *Marginal Cost* dengan *Salvage Value Defender* dibebankan pada *challenger* (Rp)

Tahun	<i>Salvage Value</i> ($t-1$)	Biaya O&M(t)	<i>Salvage Value</i> (t)	<i>Marginal Cost Total</i>
2036	-	61.736.352	-	61.736.352
2037	-	67.909.988	-	67.909.988
2038	-	74.700.987	-	74.700.987
2039	-	82.171.85	-	82.171.85

Biaya untuk mempertahankan aset pada tahun 2039 lebih besar daripada penggantian aset sehingga aset diganti pada akhir tahun 2038. Keputusan ini berbeda dengan skenario 1 yang mana penggantian aset dilakukan pada 2036.

Kemudian dilakukan uji coba kembali dengan menggunakan *challenger* yang di mana pada perhitungan sebelumnya $EUAC\ challenger < EUAC\ defender$. Tabel 5.25 menunjukkan perhitungan EUAC *challenger* dengan penambahan *salvage value defender*. Berdasarkan hasil tersebut didapatkan bahwa karena terdapat penambahan biaya investasi nilai $EUAC\ challenger > EUAC\ defender$ sehingga harus dilakukan perhitungan *marginal cost* untuk mengetahui keputusan penggantian.

Tabel 5.25 Perhitungan EUAC *Challenger* dengan Penambahan *Salvage Value Defender* (Rp)

<i>Challenger</i>				
Tahun	<i>Salvage Value</i>	Biaya O&M Tahunan	Biaya <i>Capital Recovery</i>	EUAC
2048	-	Rp5.545.724	Rp41.634.787	Rp47.180.511

<i>Challenger</i>				
Tahun	<i>Salvage Value</i>	Biaya O&M Tahunan	Biaya <i>Capital Recovery</i>	EUAC
2049	-	Rp5.784.503	Rp41.381.679	Rp47.166.181
2050	-	Rp6.031.835	Rp41.154.236	Rp47.186.071

Tabel 5.26 menunjukkan perhitungan *marginal cost* untuk mempertahankan *defender*. Biaya yang digunakan untuk mempertahankan *defender* lebih besar daripada penggantian *challenger* sehingga aset diganti pada akhir tahun umur ekonomis.

Tabel 5.26 Perhitungan *Marginal Cost* dengan *Salvage Value Defender* dibebankan pada *challenger* (Rp)

Tahun	<i>Salvage Value (t-1)</i>	Biaya O&M(t)	<i>Salvage Value (t)</i>	<i>Marginal Cost Total</i>
2036	-	61.736.352	-	61.736.352

5.4.3.3 *Salvage Value = 0*

Skenario ketiga merupakan uji coba perhitungan apabila *salvage value* pada akhir umur ekonomis dihilangkan namun biaya yang dihilangkan tersebut tidak menjadi beban bagi *challenger*. Tabel 5.22 menunjukkan perhitungan *defender* pada skenario ini. Sedangkan perhitungan *challenger* dapat dilihat pada Tabel 5.19 apabila $EUAC\ defender < challenger$ dan 5.21 apabila $EUAC\ defender > challenger$. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan Tabel 5.27 menunjukkan rekap skenario pengaruh skenario *salvage value* terhadap perhitungan EUAC dan analisis penggantian.

Tabel 5.27 Rekap Skenario Pengaruh *Salvage Value* terhadap Perhitungan EUAC

Skenario	Min EUAC <i>Defender</i>	Umur Ekonomis pada Tahun	Min EUAC <i>Challenger</i>	Umur Ekonomis pada Tahun	Keputusan Penggantian pada Tahun
<i>EUAC Defender > EUAC Challenger</i>					
1	44.577.847	2035	44.513.483	2048	2035
2	42.774.057	2035	47.166.181	2049	2035
3	42.774.057	2035	44.513.483	2048	2035
<i>EUAC Defender < EUAC Challenger</i>					

Skenario	Min EUAC <i>Defender</i>	Umur Ekonomis pada Tahun	Min EUAC <i>Challenger</i>	Umur Ekonomis pada Tahun	Keputusan Penggantian pada Tahun
1	44.577.847	2035	74.098.291	2046	2036
2	42.774.057	2035	76.803.541	2046	2038
3	42.774.057	2035	74.098.291	2046	2037

Umur teknis yang digunakan dalam perhitungan adalah 26,5 dan menggunakan data pada aset *constant voltage* yang mengalami penyesuaian. Berdasarkan perhitungan di atas didapatkan bahwa skenario 2 dan 3 menyebabkan perubahan pada min EUAC *defender* karena menghilangkan *salvage value* yang seharusnya tidak bernilai 0. Perubahan tersebut menyebabkan nilai min EUAC lebih kecil daripada sebelumnya sehingga berpotensi menggeser umur ekonomis.

Semakin besar *salvage value* yang dihilangkan dapat menyebabkan bergesernya umur ekonomis menjadi lebih lama. Hal tersebut disebabkan karena biaya *capital recovery* yang mengalami penurunan. Tabel 5.28 menunjukkan perubahan yang terjadi pada umur ekonomis apabila terjadi perubahan pada *salvage value*. Nilai sebelum perubahan merupakan hasil perhitungan dengan melibatkan *salvage value*, sedangkan nilai setelah perubahan merupakan hasil perhitungan dengan *salvage value* 0.

Tabel 5.28 Rekap Pengaruh Perubahan *Salvage Value* terhadap Umur Ekonomis *Defender*

<i>Salvage Value</i> yang dihilangkan	Minimum EUAC Sebelum Perubahan	Umur Ekonomis Sebelum Perubahan	Minimum EUAC Setelah Perubahan	Umur Ekonomis Setelah Perubahan
Rp3.867.345	Rp46.085.208	2038	Rp45.774.068	2038
Rp11.245.050	Rp45.509.407	2037	Rp44.631.509	2037
Rp18.444.261	Rp45.209.803	2036	Rp43.820.288	2036
Rp24.988.999	Rp44.577.847	2035	Rp42.774.057	2035
Rp31.057.756	Rp43.910.208	2034	Rp41.781.937	2034
Rp36.650.532	Rp43.206.636	2033	Rp40.851.701	2033
Rp48.193.070	Rp42.466.546	2031	Rp39.900.907	2031
Rp52.595.894	Rp41.684.639	2030	Rp39.219.805	2030
Rp56.522.737	Rp40.865.572	2029	Rp38.538.704	2031
Rp59.973.598	Rp40.008.810	2028	Rp37.834.261	2030

Berdasarkan perhitungan tersebut didapatkan bahwa pergeseran umur ekonomis terjadi pada *salvage value* Rp56.522.737 dan menggeser umur ekonomis menjadi tahun 2031. Oleh karena itu, berdasarkan analisis di atas maka diperoleh hasil sebagai berikut.

HASIL 1. Skenario 1, 2, dan 3 berpotensi menghasilkan keputusan yang berbeda sehingga pihak PJB perlu mempertimbangkan skenario ini dan melakukan tracking apabila terjadi perubahan data.

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB 6

PERANCANGAN PROSEDUR

Biaya siklus hidup aset merupakan perhitungan yang melibatkan biaya dari aset akuisisi hingga habis masa pakainya. Perhitungan biaya siklus hidup digunakan sebagai dasar dalam mengambil keputusan dalam analisis penggantian dan manajemen aset. Setiap perusahaan dan aset memiliki karakteristik yang berbeda yang dapat disebabkan oleh kondisi lingkungan dan kebijakan yang berbeda. Adanya perbedaan tersebut menyebabkan banyaknya asumsi yang muncul untuk memudahkan perhitungan biaya siklus hidup dan analisis penggantian. Namun, asumsi tersebut tidak dapat digunakan seiring dengan berjalannya waktu. Prosedur biaya siklus hidup dirancang dengan memerhatikan berbagai faktor dan kejadian yang akan terjadi kedepannya, sehingga dapat menjadi pertimbangan bagi pengambil keputusan untuk melakukan manajemen aset.

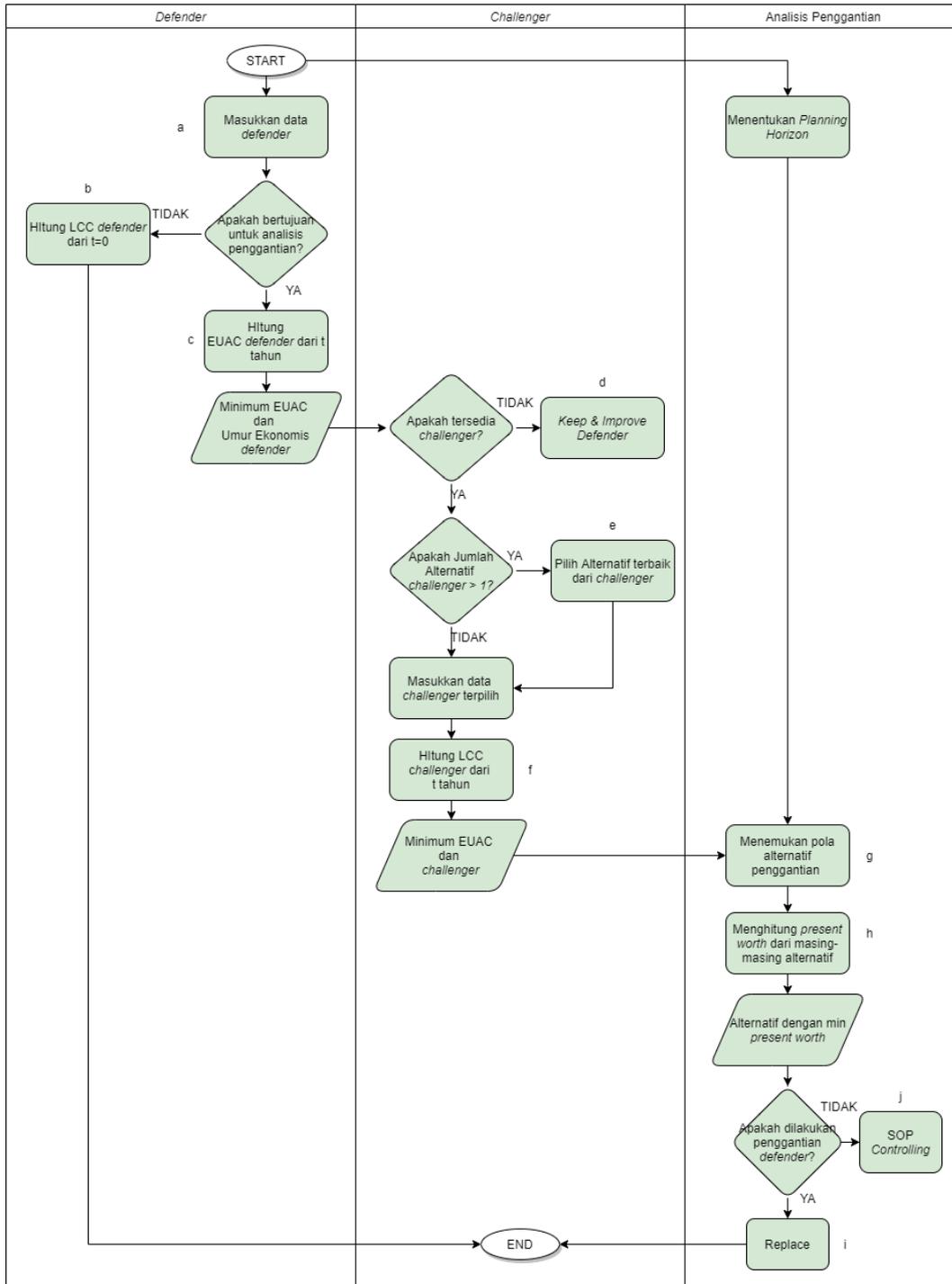
Prosedur pengelolaan biaya siklus hidup dibagi menjadi dua, yaitu prosedur *planning* dan prosedur *controlling*. Prosedur *planning* merupakan prosedur yang disusun pada tahun ke- t berupa perencanaan pengelolaan aset sampai dengan akhir *planning horizon*. Prosedur *controlling* dijalankan pada tahun ke $t + 1$ dengan tujuan untuk memastikan bahwa perencanaan berjalan sesuai rencana. Apabila terjadi ketidaksesuaian dengan estimasi dan asumsi awal maka prosedur yang harus dilakukan dijelaskan pada prosedur *controlling*.

6.1 Prosedur *Planning*

Prosedur *planning* bertujuan sebagai pedoman awal dalam melakukan pengelolaan aset selama umur pembangkit. Prosedur *planning* dilakukan pada tahun dilakukannya observasi. Penjelasan mengenai prosedur dalam prosedur *planning* akan dijelaskan sebagai berikut.

1. Alur Prosedur Prosedur *Planning*

Gambar 6.1 menunjukkan diagram alir prosedur *planning* pengelolaan biaya siklus hidup aset.



Gambar 6.1 Prosedur *Planning* Analisis Biaya Siklus Hidup

2. Deskripsi Prosedur *Planning*

Deskripsi prosedur *planning* pada penelitian ini, akan dijelaskan sebagai berikut.

- a. Mempersiapkan data aset *defender* untuk dilakukan perhitungan. Data yang dibutuhkan dijabarkan pada Tabel 6.1 di bawah ini.

Tabel 6.1 Kebutuhan Data Masukan *Defender*

No	Komponen	Data yang dibutuhkan
1	A	Biaya Investasi
2		<i>Asset Depreciation Range</i>
3		<i>Salvage Value</i>
4	C	<i>Self Consumption</i> Listrik
5		Kebutuhan Bahan Bakar
6		Biaya Bahan Bakar dan Listrik
7		Kurs Dollar
8	B&D	Biaya material pemeliharaan
9		Biaya jasa pemeliharaan
10		Biaya Pegawai
11		<i>Loss Output</i>

Beberapa data yang dibutuhkan tersebut seperti biaya material dan jasa pemeliharaan merupakan data historis yang digunakan untuk melakukan estimasi terhadap biaya pemeliharaan pada masa yang akan datang.

- b. Menghitung LCC *defender* sejak tahun akuisi hanya dilakukan untuk mengetahui pola perilaku biaya pada aset dan bukan sebagai keputusan untuk melakukan prosedur selanjutnya.
- c. Apabila bertujuan untuk analisis penggantian maka perhitungan dilakukan dengan menggunakan t =saat ini untuk mendapatkan nilai minimum EUAC dan umur ekonomis yang dibutuhkan untuk analisis selanjutnya.
- d. Apabila tidak tersedia data mengenai *challenger*, maka yang dilakukan adalah melakukan *improvement* pada pemeliharaan hingga ditemukan alternatif *challenger* terbaik.
- e. Apabila tersedia lebih dari satu alternatif *challenger* maka yang dilakukan adalah melakukan pemilihan *challenger* terbaik. *Challenger* terbaik dari alternatif dengan umur ekonomis yang sama ditentukan berdasarkan nilai EUAC terkecil. Pada alternatif *challenger* yang memiliki umur ekonomis yang berbeda maka dilakukan analisis yang lebih mendalam. Metode yang digunakan untuk alternatif dengan umur ekonomis yang berbeda adalah dengan

- membandingkan kombinasi pengulangan yang menghasilkan nilai terkecil selama sisa *planning horizon* seperti yang telah dijelaskan pada bab 5.3.3.
- f. Melakukan perhitungan terhadap *challenger* yang terbaik sehingga didapatkan umur ekonomis dan min EUAC.
 - g. Membuat pola alternatif penggantian antara *defender* dan *challenger* terbaik. Penyusunan pola alternatif penggantian tersebut disebabkan karena *planning horizon* bersifat terbatas.
 - h. Menentukan alternatif terbaik dengan melakukan perhitungan *present worth*. Metode ini digunakan dengan menggunakan asumsi bahwa selama *planning horizon* tidak terjadi perubahan biaya. Alternatif yang terpilih akan dijadikan sebagai pedoman dalam melakukan analisis selanjutnya.
 - i. Apabila berdasarkan perhitungan *present worth* didapatkan alternatif terbaik adalah mempertahankan *defender* 0 tahun dan melakukan penggantian *challenger* selama sisa *planning horizon*, maka dilakukan penggantian *challenger* saat ini.
 - j. Namun, apabila alternatif terpilih adalah mempertahankan *defender* selama beberapa tahun maka analisis berlanjut menuju SOP *controlling* pada $t + 1$.

6.2 Prosedur *Controlling*

Analisis ekonomi adalah kegiatan yang berkelanjutan dalam kehidupan perusahaan dan proyek investasi. Oleh karena itu, perlu menggunakan data terbaru yang paling andal yang dapat diperoleh secara wajar untuk mendapatkan keputusan yang tepat (Park, 2012).

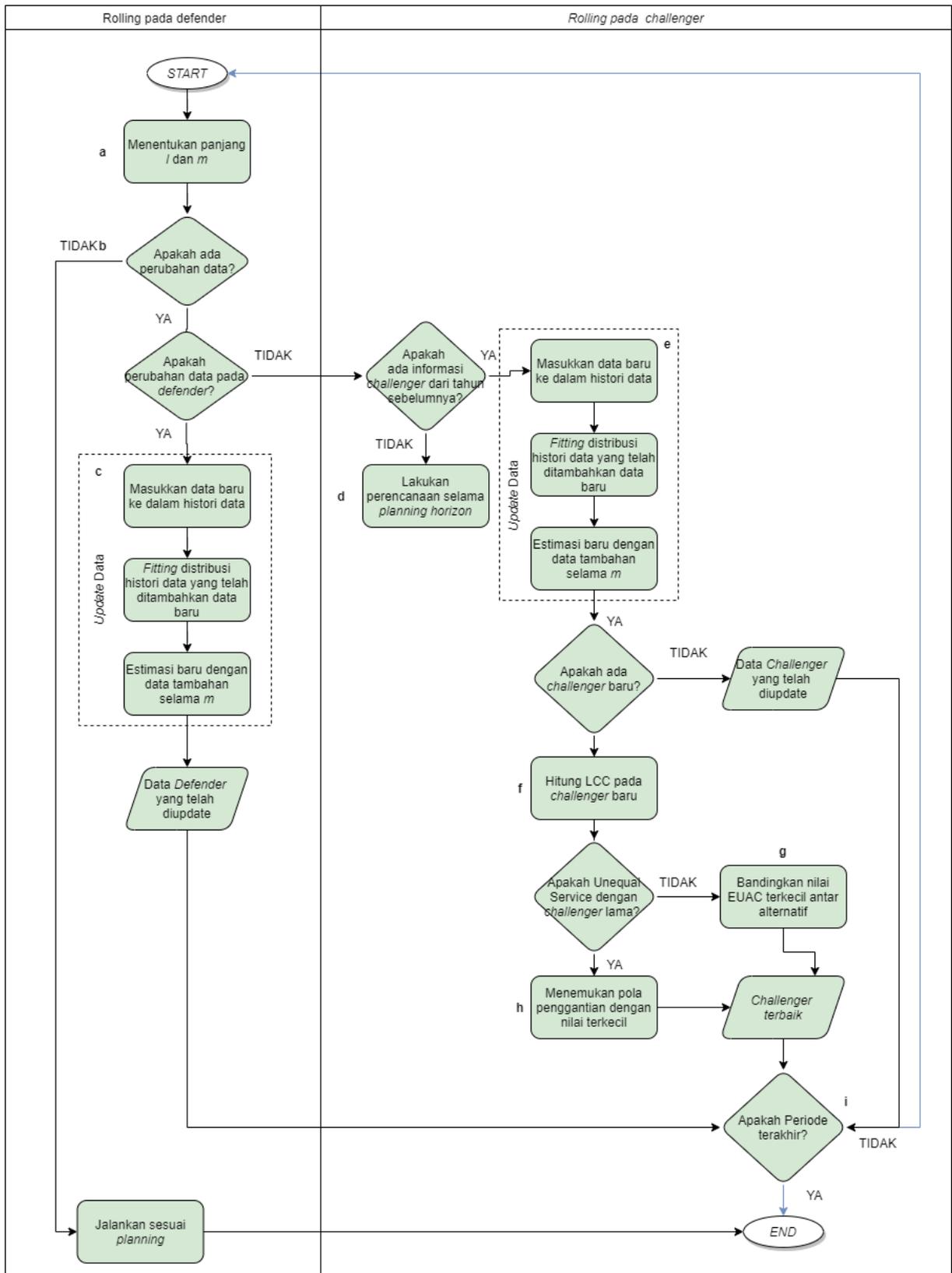
Prosedur *controlling* bertujuan melakukan *update* data akibat adanya perubahan dan menjelaskan prosedur yang harus dilakukan apabila terdapat ketidaksesuaian dengan *planning* awal. Prosedur *controlling* dilakukan pada $t + 1$ sampai dengan berakhirnya *planning horizon* dengan menggunakan konsep *rolling horizon*. Prosedur *controlling* terbagi menjadi dua yaitu *tracking* dan analisis penggantian. Penjelasan mengenai prosedur dalam Prosedur *controlling* akan dijelaskan sebagai berikut.

6.2.1 *Prosedur Tracking*

Prosedur *tracking* merupakan prosedur yang dilakukan setiap tahun untuk melakukan *update* data apabila terjadi perubahan. Prosedur ini menerapkan konsep RPH yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Penjelasan mengenai prosedur dalam prosedur *tracking* akan dijelaskan sebagai berikut.

1. Alur Prosedur Prosedur *Tracking*

Gambar 6.2 menunjukkan diagram alir prosedur *tracking* biaya siklus hidup aset.



Gambar 6.2 Prosedur *Tracking* Pengelolaan Biaya Siklus Hidup

2. Deskripsi Prosedur *Tracking*

Deskripsi prosedur *tracking* pada penelitian ini, akan dijelaskan sebagai berikut.

- a. Variabel yang penting dalam melakukan RPH adalah l dan m . l merupakan *rolling period* yang dalam penelitian ini ditentukan 1 tahun dan m merupakan *stage length* yang disepakati sepanjang umur ekonomis dari masing-masing aset. Apabila *defender* dan *challenger* memiliki umur ekonomis yang berbeda maka *stage length* ditentukan berdasarkan aset yang memiliki umur ekonomis terpanjang.
- b. *Rolling* dilakukan setiap tahun untuk mengecek apakah terjadi perubahan data terhadap perencanaan yang telah dilakukan. Apabila tidak terjadi perubahan data maka perencanaan di awal tetap dapat dilakukan.
- c. Apabila terjadi perubahan pada *defender* maka dilakukan *update data* yang terdiri dari biaya O&M, *capital recovery*, dan *inflasi*. Adanya data baru tersebut dapat menyebabkan perubahan pada data estimasi selama m .
- d. Hal tersebut berlaku sama apabila terjadi perubahan pada *challenger* yang telah ditentukan pada tahun sebelumnya.
- e. Apabila sebelumnya tidak terdapat informasi mengenai *challenger* maka prosedur *planning* dijalankan kembali untuk mendapatkan perencanaan selama sisa umur ekonomis.
- f. Apabila selama *rolling* dilakukan muncul *challenger* yang lebih potensial daripada sebelumnya maka dilakukan perhitungan kembali dengan data terbaru untuk selanjutnya dibandingkan dengan *challenger* lama pada tahap selanjutnya.
- g. Apabila antara *challenger* baru dan lama memiliki umur ekonomis yang sama maka *challenger* terbaik ditentukan berdasarkan aset yang memiliki umur ekonomis terkecil.
- h. Apabila keduanya memiliki umur ekonomis yang berbeda maka dilakukan penentuan kombinasi selama sisa umur ekonomis dengan menggunakan metode *present worth* yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya.
- i. Kemudian tahap *rolling* dilanjutkan untuk tahun berikutnya. Hal yang perlu diperhatikan pada prosedur *controlling* ini adalah aktivitas *rolling* yang

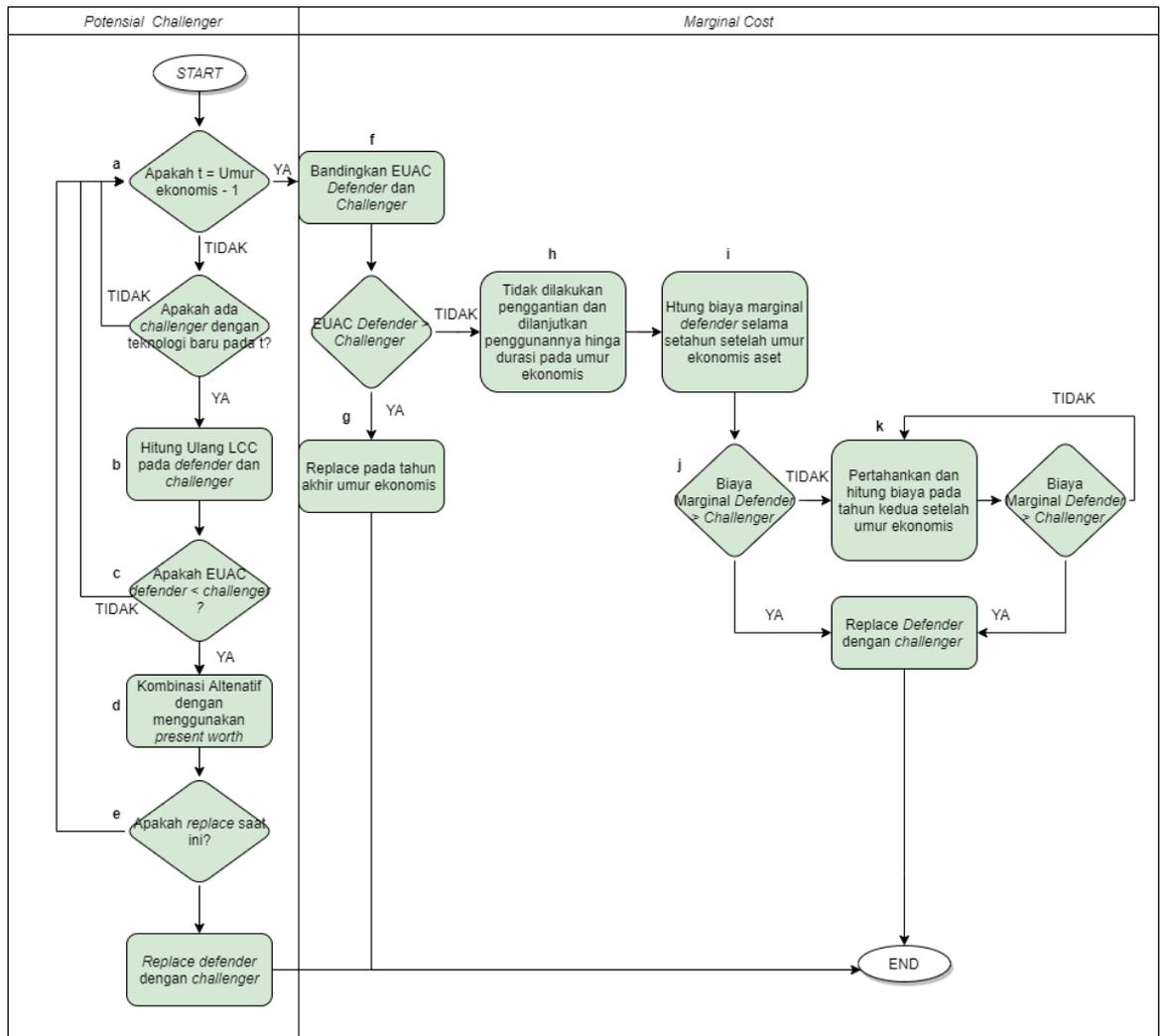
dilakukan yaitu dengan menghapus satu periode yang telah berlalu untuk ditambahkan pada satu periode depan. Penjelasan mengenai *rolling planning horizon* telah disebutkan pada bab 5.4

6.2.2 *Prosedur Analisis Penggantian*

Hasil dari Prosedur *tracking* akan digunakan pada prosedur ini. Berbeda dengan prosedur *tracking* yang dilakukan setiap tahun, prosedur ini hanya digunakan pada saat tertentu saja. Penjelasan mengenai prosedur dalam prosedur analisis penggantian akan dijelaskan sebagai berikut.

1. Alur Prosedur Prosedur Analisis Penggantian

Gambar 6.3 menunjukkan diagram alir prosedur analisis penggantian pengelolaan biaya siklus hidup aset.



Gambar 6.3 Prosedur Analisis Penggantian Pengelolaan Biaya Siklus Hidup

2. Deskripsi prosedur Analisis Penggantian

Deskripsi prosedur analisis penggantian akan dijelaskan sebagai berikut.

- Analisis penggantian setelah *tracking* dilakukan ketika aset mendekati umur ekonomisnya dan ketika terdapat potensi *challenger* yang lebih baik daripada *defender* (sebelum umur ekonomis).
- Ketika terdapat potensial *challenger* sebelum umur ekonomis *defender* maka perlu dilakukan analisis penggantian. EUAC potensial *challenger* dihitung untuk mendapatkan nilai minimum EUAC dan umur ekonomis yang akan digunakan pada tahap selanjutnya.
- Kemudian dilakukan perbandingan antara minimum EUAC *challenger* dan *defender*. Apabila minimum EUAC *challenger* < EUAC *defender* maka

dilanjutkan pada analisis selanjutnya, namun apabila sebaliknya maka keputusan yang tepat adalah mempertahankan *defender* dan melakukan analisis penggantian pada tahun selanjutnya.

- d. Apabila berdasarkan perhitungan kombinasi tersebut didapatkan alternatif terbaik adalah mempertahankan *defender* selama 0 tahun maka dilakukan penggantian *defender* dan *challenger*. Namun apabila alternatif terbaik adalah mempertahankan *defender* selama beberapa tahun maka dilakukan analisis penggantian lagi pada tahun-tahun berikutnya.
- e. Selain melakukan perbandingan antara EUAC *challenger* dan *defender* juga dilakukan perhitungan alternatif kombinasi dengan menggunakan potensial *challenger* selama sisa *planning horizon*. Perhitungan ini dilakukan dengan menggunakan asumsi bahwa potensial *challenger* akan selalu tersedia dan tidak mengalami perubahan harga.
- f. Analisis penggantian dilakukan dengan membandingkan antara EUAC *defender* dan *challenger*.
- g. Apabila berdasarkan perbandingan didapatkan bahwa $EUAC\ challenger < EUAC\ defender$ maka aset tersebut diganti pada saat umur ekonomis.
- h. Apabila $EUAC\ challenger > EUAC\ defender$ maka *defender* dipertahankan dan dilanjutkan penggunaannya hingga akhir umur ekonomis.
- i. Waktu penggantian yang tepat diketahui dengan melakukan perhitungan *marginal cost* yang merupakan biaya tambahan yang dibutuhkan aset untuk mempertahankan selama 1 tahun. Metode perhitungan *marginal cost* telah dijelaskan pada Bab 4.
- j. Langkah selanjutnya adalah melakukan perbandingan antara *defender marginal cost* dan EUAC *challenger*. Apabila $defender\ marginal\ cost > EUAC\ challenger$ maka dilakukan penggantian pada akhir umur ekonomis.
- k. Apabila sebaliknya maka aset dipertahankan hingga dilakukan kembali perhitungan *marginal cost* untuk tahun selanjutnya.

BAB 7

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini akan dipaparkan mengenai kesimpulan dan saran dari hasil penelitian Tugas Akhir untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

7.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan berdasarkan hasil penelitian Tugas Akhir adalah sebagai berikut.

- a. Komponen biaya yang dilibatkan dalam perhitungan LCC adalah komponen A (biaya *capital recovery*), komponen C (*Fuel cost*), serta komponen B dan D (biaya pemeliharaan dan operasi) yang terdapat pada pembangkit. Dari perhitungan yang dilakukan pada beberapa aset di PT PJB didapatkan bahwa sebagian besar aset memiliki umur ekonomis pada tahun 2020 sehingga harus segera dilakukan analisis penggantian lebih lanjut untuk dapat menentukan keputusan yang tepat. Analisis penggantian yang dilakukan tidak hanya memperhitungkan umur ekonomis dan minimum EUAC saja melainkan harus melibatkan analisis *marginal cost* dan kombinasi alternatif pada *finite planning horizon*.
- b. Pengembangan skenario bertujuan untuk mengetahui dampak perubahan terhadap keputusan pada analisis penggantian. Skenario yang digunakan pada penelitian ini meliputi:
 1. *Sunk cost* yang dilibatkan pada perhitungan LCCA dalam konteks analisis penggantian dapat menyebabkan timbulnya keputusan yang buruk karena menguntungkan alternatif untuk mempertahankan *defender*.
 2. Analisis penggantian harus mempertimbangkan beberapa kondisi *challenger* yang mungkin terjadi di masa depan seperti adanya perubahan teknologi, adanya beberapa alternatif *challenger* dengan *unequal service*, tidak berlakunya asumsi *repeatability* serta tidak tersedianya informasi mengenai *challenger*.
 3. Perhitungan umur ekonomis tidak hanya dilakukan pada saat pembelian aset saja namun harus dilakukan secara berkala dikarenakan terdapat

- perbedaan umur ekonomis pada saat dilakukan perhitungan pada tahun berjalan. Terlebih lagi apabila terjadi perbedaan data riil dan estimasi sehingga harus dilakukan *tracking* melalui konsep *rolling planning horizon*.
4. Aset pada PT PJB merupakan barang milik negara yang kepemilikannya diatur oleh negara. Adanya penghapusan aset sebelum umur teknis menyebabkan *salvage value* pada akhir umur ekonomis tidak bernilai 0. Beberapa skenario disusun untuk mengetahui pengaruh pendekatan *salvage value* yang berbeda terhadap keputusan penggantian. Skenario yang disusun adalah melibatkan *salvage value* dalam perhitungan, menghapuskan *salvage value*, serta membebaskan *salvage value* pada *capital cost challenger*. Berdasarkan eksperimentasi didapatkan bahwa ketiga skenario tersebut dapat menghasilkan keputusan yang berbeda.
- c. Perancangan prosedur yang disusun terdiri dari dua bagian utama, yaitu prosedur pertama yang merupakan prosedur *planning* dan prosedur *controlling*. Prosedur *planning* berfungsi merencanakan pengelolaan aset pada saat awal penggunaan aset dan dilaksanakan pada tahun observasi. Prosedur *controlling* berguna untuk melakukan konfirmasi terkait data estimasi dan data riil. Prosedur *controlling* terdiri dari prosedur *tracking* dan prosedur analisis penggantian. Prosedur *tracking* dilakukan menggunakan konsep *rolling planning horizon* untuk mengecek kesesuaian data estimasi. *Tracking* dilakukan setiap tahun dengan panjang *stage* sesuai dengan umur ekonomis aset. Hal yang perlu diperhatikan pada prosedur *tracking* ini adalah aktivitas *rolling* yang dilakukan yaitu dengan menghapus satu periode yang telah berlalu untuk ditambahkan pada satu periode depan. Data yang dilibatkan dalam prosedur *tracking* adalah data biaya *capital recovery*, O&M, serta inflasi. Sedangkan prosedur analisis penggantian dilakukan untuk menentukan keputusan terhadap manajemen aset yang hanya dilakukan pada akhir umur ekonomis dan ketika ada *challenger* yang lebih potensial.

7.2 Saran

Saran dari penelitian Tugas Akhir untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut.

- a. Pengembangan terhadap skenario terkait analisis penggantian.

- b. Pengembangan sistem informasi dengan menggunakan konsep *rolling planning horizon* dan skenario yang dirancang pada penelitian ini.
- c. Perancangan *standart operating procedure* secara lengkap dalam rangka memudahkan pengambil keputusan dalam memahami prosedur sesuai standar yang berlaku di PT PJB.
- d. Pengembangan prosedur yang terintegrasi dan dapat digunakan pada seluruh level dan jenis pembangkit.
- e. Pembangunan model LCC disesuaikan dengan tahapan yang mempertimbangkan tingkat otomatisasi dan kompleksitas sistem (A.T. Kearney, 2011). Terdapat empat tahapan keunggulan LCC yakni sebagai berikut.
 - a. Tahap 1
 - Menghitung LCC untuk satu aset.
 - *Not automated.*
 - b. Tahap 2
 - Menghitung LCC untuk *complex unit* dengan mempertimbangkan ketergantungan antar aset.
 - *Party automated.*
 - c. Tahap 3
 - Menghitung LCC untuk seluruh pabrik dengan mempertimbangkan ketergantungan antar aset.
 - Pengembangan skenario.
 - *Party automated.*
 - d. Tahap 4
 - Pengembangan model LCC lintas pabrik termasuk pengembangan skenario.
 - *Fully automated.*

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- A.T. Kearney, 2011. *Reaching Peak O&M Performance in Power Generation from A.T. Kearney (The Best 5 Consultant)*, USA: A.T. Kearney, Inc.
- Barringer, P. & Weber, D., 1996. *Life Cycle Cost Tutorial*. Texas, Gulf Publishing Company.
- Berg, M., 1980. Marginal Cost Analysis for Preventive Replacement Policies. *European Journal of Operational Research* 4 , pp. 136-142.
- Blanchard, B. S., 2001. Maintenance and Support: A Critical Element in the System Life Cycle. *Proceedings of the International Conference of Maintenance Societies*, May.
- BPK Makassar, 2015. *BPK*. [Online] Available at: <https://makassar.bpk.go.id/wp-content/uploads/2015/10/Penghapusan-BMN.pdf>
- Campbell, J. D., Jardine, A. K. & McGlynn, J., 2011. *Asset Management Excellent*. 2nd ed. United States: CRC Press.
- Carter, W. K., 2009. *Akutansi Biaya "Cost Accounting"*. Jakarta: Salemba Empat.
- Chowdhury, B. & Raghavan, S., 2012. Developing Life Cycle Management Plans for Power Plant Components. *North American Power Symposium*.
- Corder, 1996. *Teknik Manajemen Pemeliharaan*. Second ed. Jakarta: Erlangga.
- Corporate Finance Institute, n.d. *Types of Assets*. [Online] Available at: <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/knowledge/accounting/types-of-assets/>[Accessed 29 April 2020].
- Daellenbach, H. G. & McNickle, D. C., 2005. *Management Science Decision making through systems thinking*. New York: Palgrave Macmillan.
- Davis, R., 2014. *Introduction to Asset Management*. Chester: Institute of Asset Management.
- Dell'Isola, A. & Kirk, S., 2003. *Life Cycle Costing for Facilities*. Kingston: Reeds Construction Data.
- Dhillon, 2010. *Life Cycle Costing for Engineers*. United States: Taylor and Francis Group.
- Dhillon, B. S., 2006. *Maintainability, Maintenance, and Reliability for Engineers*. Boca Raton: CRC Press.

- Ebiling, C. E., 1997. *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. 1 ed. Boston: McGraw-Hill.
- El-Akruti, 2012. The Strategic Role of Engineering Asset Management in Capital Intensive Organizations. *Doctorate of Philosophy*, p. 247.
- El-Akruti, K., Dwight, R., Zhang, T. & Al-Marsumi, M., 2013. The Role of Life Cycle Cost in Engineering Asset Management. *University of Wollongong Research Online*, p. 3.
- Elsayed, E. A., 2012. *Reliability Engineering*. second ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Eschenbach, T. G., 2011. *Engineering Economy*. 3rd ed. New York: Oxford University Press, Inc..
- Eschenbach, T. G., Newnan, D. G. & Lavelle, J. P., 2012. *Engineering Economic Analysis*. 11th ed. New York: Oxford University Press.
- Farr, J. V. & Faber, I., 2019. *Engineering Economics of Life Cycle Cost Analysis*. Boca Raton: CRC Press.
- Galar, D., Sandborn, P. & Kumar, U., 2017. *Maintenance Cost and Life Cycle Cost Analysis*. U.S: Taylor & Francis Group.
- GenesisSolutions, 2013. *Enterprise Asset Management Assessment*. [Online]Available at: https://www.genessolutions.com/content/documents/resources/genesis/EAM_Assessment-Abstract-2013.pdf [Accessed 30 April 2020].
- Ikatan Akuntan Indonesia, 2016. Buletin Teknis Revaluasi Tetap. 11.
- Jardine, A. K. & Tsang, A. H., 2013. *Maintenance, Replacement, and Reliability Theory and Applications*. New York: CRC Press.
- Kementerian ESDM, 2015. *Rencana Strategis Kementrian ESDM Tahun 2015-2019*. Jakarta: Kementrian ESDM.
- Kemps, B., 2012. *Life Cycle Costing: An Effective Asset Management Tool*. s.l.:International Masters School .
- Kontoghiorghes, E. J., Rustem, B. & Siokos, S., 2002. *Computational Methods In Decision-Making, Economics, And Finance*. s.l.:Kluwer Academic Publisher.

- Latifa, Haridhi, M. & Cut, A., 2016. Pengaruh Negosiasi Debt Contracts, Political Cost, Fixed Asset Intensity, dan Market to Book Ratio terhadap Perusahaan Melakukan Revaluasi Aset Tetap (Studi pada Perusahaan Manufaktur yang Terdaftar di Bursa Efek Indonesia Tahun 2010-2014). *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Ekonomi Akuntansi (JIMEKA) Vol. 1 No. 2*, pp. 166-176.
- Maksum, H. & Rivai, A., 2015. Komponen Penentu Harga Jual Tenaga Listrik dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap Batubara Skala Kecil (PLTU B-SK). *M&E*, Juni. Volume 13.
- Marquez, A. C. et al., 2009. The Maintenance Management Framework: A Practical View to Maintenance Management. *J of Quality in Maintenance Eng*, pp. 167-178.
- Martani, D., 2012. *Akuntansi Keuangan Menengah Berbasis PSAK*. Jakarta: Salemba Empat.
- Moubray, j., 1997. *Reliability-Centered Maintenance II*. New York: Industrial Press Inc..
- National Energy Council, 2019. *Indonesia Energy Outlook*. Jakarta: National Energy Council.
- Park, 2006. *Contemporary Engineering Economics*. s.l.:s.n.
- Park, C. S., 2012. *Fundamentals of Engineering Economics*. Third Edition ed. England: Pearson.
- PT Pembangkit Jawa-Bali, 2018. *Laporan Tahunan*, Surabaya: PT Pembangkit Jawa Bali.
- Pujawan, I. N., 2009. *Ekonomi Teknik*. Surabaya: Guna Widya.
- SamiCorp, n.d.. *The SAMI Pyramid*. [Online] Available at: <https://samicorp.com/the-sami-pyramid/>[Accessed 30 April 2020].
- Sliter, G. E., 2003. *Life Cycle Management in the US Nuclear Power Industry*. s.l., s.n., p. 2.
- Sullivan, W. G., Wicks, E. M. & Koelling, C. P., 2015. *Engineering Economy*. Sixteen Edition ed. Upper Saddle River: Pearson Higher Education, Inc..
- Thuesen, G. J. & Fabrycky, W. J., 2001. *Engineering Economy*. Ninth Edition ed. New Jersey: Prentice Hall.

- Waluyo & Wirawan, B. I., 2002. *Perpajakan Indonesia*. Jakarta: Salemba Empat.
- Wang, B. & Liu, D., 2011. Rolling horizon procedure for large-scale equipment replacement problems with multiple alternatives. *Control and Decision Conference*.
- Ying, K.-C., Lu, C.-C. & Chen, H.-J., 2015. Real-time relief distribution in the aftermath of disasters – A. *Transportation Research Part E*.

LAMPIRAN

PERHITUNGAN BIAYA DAN NILAI EUAC

Lampiran ini akan diberikan tabel berisikan perhitungan nilai EUAC untuk beberapa komponen turbin yang terdiri dari biaya O&M, *salvage value*, biaya O&M tahunan, biaya *capital recovery*, dan EUAC.

Perhitungan Nilai EUAC Komponen *Constant Voltage (Defender)*

Year	Umur	Biaya O& M	<i>Salvage Value</i>	Biaya O&M Tahunan	<i>Biaya Capital Recovery</i>	EUAC
2020	1	Rp8.957.086	Rp220.141.184	Rp8.957.086	Rp57.117.713	Rp66.074.799
2021	2	Rp9.852.795	Rp208.241.661	Rp9.383.614	Rp55.361.116	Rp64.744.730
2022	3	Rp10.838.074	Rp196.342.137	Rp9.823.028	Rp53.623.351	Rp63.446.379
2023	4	Rp11.921.882	Rp184.442.614	Rp10.275.270	Rp51.904.332	Rp62.179.601
2024	5	Rp13.114.070	Rp172.543.090	Rp10.740.258	Rp50.203.940	Rp60.944.198
2025	6	Rp14.425.477	Rp160.643.567	Rp11.217.889	Rp48.522.024	Rp59.739.913
2026	7	Rp15.868.024	Rp148.744.044	Rp11.708.039	Rp46.858.402	Rp58.566.441
2027	8	Rp17.454.827	Rp136.844.520	Rp12.210.561	Rp45.212.860	Rp57.423.421
2028	9	Rp19.200.310	Rp124.944.997	Rp12.725.290	Rp43.585.156	Rp56.310.447
2029	10	Rp21.120.340	Rp113.045.473	Rp13.252.041	Rp41.975.021	Rp55.227.062
2030	11	Rp23.232.375	Rp101.145.950	Rp13.790.611	Rp40.382.158	Rp54.172.769
2031	12	Rp25.555.612	Rp89.246.426	Rp14.340.782	Rp38.806.247	Rp53.147.029
2032	13	Rp28.111.173	Rp77.346.903	Rp14.902.318	Rp37.246.946	Rp52.149.264
2033	14	Rp30.922.290	Rp65.447.379	Rp15.474.971	Rp35.703.891	Rp51.178.862
2034	15	Rp34.014.520	Rp53.547.856	Rp16.058.481	Rp34.176.701	Rp50.235.182
2035	16	Rp37.415.971	Rp41.648.332	Rp16.652.574	Rp32.664.977	Rp49.317.551

Year	Umur	Biaya O& M	Salvage Value	Biaya O&M Tahunan	Biaya Capital Recovery	EUAC
2036	17	Rp41.157.569	Rp29.748.809	Rp17.256.969	Rp31.168.306	Rp48.425.275
2037	18	Rp45.273.326	Rp17.849.285	Rp17.871.374	Rp29.686.265	Rp47.557.638
2038	19	Rp49.800.658	Rp5.949.762	Rp18.495.491	Rp28.218.417	Rp46.713.908
2039	20	Rp54.780.724	Rp-	Rp19.129.018	Rp27.255.414	Rp46.384.432
2040	21	Rp60.258.796	Rp-	Rp19.771.645	Rp26.829.565	Rp46.601.211
2041	22	Rp66.284.676	Rp-	Rp20.423.063	Rp26.453.816	Rp46.876.879
2042	23	Rp72.913.143	Rp-	Rp21.082.959	Rp26.121.243	Rp47.204.202
2043	24	Rp80.204.458	Rp-	Rp21.751.018	Rp25.826.079	Rp47.577.097
2044	25	Rp88.224.904	Rp-	Rp22.426.930	Rp25.563.477	Rp47.990.407
2045	26	Rp97.047.394	Rp-	Rp23.110.381	Rp25.329.341	Rp48.439.722
2046	27	Rp106.752.133	Rp-	Rp23.801.065	Rp25.120.180	Rp48.921.245
2047	28	Rp117.427.347	Rp-	Rp24.498.676	Rp24.933.009	Rp49.431.685
2048	29	Rp129.170.081	Rp-	Rp25.202.913	Rp24.765.258	Rp49.968.171
2049	30	Rp142.087.089	Rp-	Rp25.913.481	Rp24.614.704	Rp50.528.185
2050	31	Rp156.295.798	Rp-	Rp26.630.090	Rp24.479.416	Rp51.109.506
2051	32	Rp171.925.378	Rp-	Rp27.352.457	Rp24.357.711	Rp51.710.168
2052	33	Rp189.117.916	Rp-	Rp28.080.305	Rp24.248.116	Rp52.328.422
2053	34	Rp208.029.708	Rp-	Rp28.813.366	Rp24.149.337	Rp52.962.703
2054	35	Rp228.832.678	Rp-	Rp29.551.379	Rp24.060.233	Rp53.611.611
2055	36	Rp251.715.946	Rp-	Rp30.294.089	Rp23.979.798	Rp54.273.887
2056	37	Rp276.887.541	Rp-	Rp31.041.252	Rp23.907.140	Rp54.948.393

Perhitungan Nilai EUAC Komponen *Generator Transformer (Defender)*

Year	Umur	Biaya O& M	Salvage Value	Biaya O&M Tahunan	Biaya Capital Recovery	EUAC
2020	1	Rp4.763.645.082	Rp3.692.145.183	Rp4.763.645.082	Rp1.216.236.060	Rp5.979.881.142
2021	2	Rp5.397.384.995	Rp3.257.775.162	Rp5.065.425.993	Rp1.152.114.771	Rp6.217.540.764
2022	3	Rp6.259.509.573	Rp2.823.405.140	Rp5.426.176.319	Rp1.088.680.876	Rp6.514.857.195
2023	4	Rp6.929.026.518	Rp2.389.035.119	Rp5.749.996.659	Rp1.025.931.263	Rp6.775.927.922
2024	5	Rp7.850.856.865	Rp1.954.665.097	Rp6.094.112.269	Rp963.861.606	Rp7.057.973.875
2025	6	Rp8.895.332.471	Rp1.520.295.075	Rp6.457.171.081	Rp902.466.392	Rp7.359.637.472
2026	7	Rp10.267.618.167	Rp1.085.925.054	Rp6.858.813.160	Rp841.738.950	Rp7.700.552.110
2027	8	Rp11.419.664.003	Rp651.555.032	Rp7.257.632.281	Rp781.671.502	Rp8.039.303.783
2028	9	Rp12.938.959.493	Rp217.185.011	Rp7.676.008.280	Rp722.255.204	Rp8.398.263.484
2029	10	Rp14.660.395.712	Rp-	Rp8.114.246.427	Rp671.571.346	Rp8.785.817.774
2030	11	Rp16.858.408.190	Rp-	Rp8.586.108.870	Rp635.331.247	Rp9.221.440.117
2031	12	Rp18.820.854.335	Rp-	Rp9.064.719.497	Rp605.621.051	Rp9.670.340.549
2032	13	Rp21.324.882.498	Rp-	Rp9.564.670.846	Rp580.924.719	Rp10.145.595.565
2033	14	Rp24.162.078.859	Rp-	Rp10.086.473.051	Rp560.158.854	Rp10.646.631.905
2034	15	Rp27.701.248.819	Rp-	Rp10.640.876.574	Rp542.528.539	Rp11.183.405.113
2035	16	Rp31.019.203.106	Rp-	Rp11.207.732.753	Rp527.437.229	Rp11.735.169.982
2036	17	Rp35.146.277.871	Rp-	Rp11.798.156.247	Rp514.428.446	Rp12.312.584.693
2037	18	Rp39.822.489.297	Rp-	Rp12.412.736.099	Rp503.146.916	Rp12.915.883.015
2038	19	Rp45.546.227.662	Rp-	Rp13.060.392.092	Rp493.311.969	Rp13.553.704.062
2039	20	Rp51.124.333.177	Rp-	Rp13.724.974.221	Rp484.698.928	Rp14.209.673.149
2040	21	Rp57.926.575.854	Rp-	Rp14.415.597.275	Rp477.125.803	Rp14.892.723.078
2041	22	Rp65.633.936.294	Rp-	Rp15.132.913.337	Rp470.443.626	Rp15.603.356.963
2042	23	Rp74.924.366.061	Rp-	Rp15.884.600.280	Rp464.529.297	Rp16.349.129.576

Year	Umur	Biaya O& M	Salvage Value	Biaya O&M Tahunan	Biaya Capital Recovery	EUAC
2043	24	Rp84.261.822.548	Rp-	Rp16.657.247.599	Rp459.280.219	Rp17.116.527.818
2044	25	Rp95.473.461.255	Rp-	Rp17.458.656.549	Rp454.610.225	Rp17.913.266.774
2045	26	Rp108.176.994.438	Rp-	Rp18.289.549.304	Rp450.446.432	Rp18.739.995.737
2046	27	Rp123.301.736.258	Rp-	Rp19.156.702.379	Rp446.726.807	Rp19.603.429.186
2047	28	Rp138.880.318.386	Rp-	Rp20.048.764.617	Rp443.398.240	Rp20.492.162.857
2048	29	Rp157.359.971.943	Rp-	Rp20.972.604.679	Rp440.415.023	Rp21.413.019.702
2049	30	Rp178.298.747.960	Rp-	Rp21.929.029.361	Rp437.737.631	Rp22.366.766.992
2050	31	Rp202.981.814.549	Rp-	Rp22.924.134.214	Rp435.331.731	Rp23.359.465.945
2051	32	Rp228.906.302.944	Rp-	Rp23.948.219.205	Rp433.167.385	Rp24.381.386.590
2052	33	Rp259.366.094.758	Rp-	Rp25.007.459.879	Rp431.218.389	Rp25.438.678.268
2053	34	Rp293.879.403.179	Rp-	Rp26.102.765.237	Rp429.461.732	Rp26.532.226.969
2054	35	Rp334.241.322.438	Rp-	Rp27.239.705.650	Rp427.877.145	Rp27.667.582.794
2055	36	Rp377.296.314.740	Rp-	Rp28.409.967.234	Rp426.446.724	Rp28.836.413.958
2056	37	Rp427.503.870.115	Rp-	Rp29.619.198.008	Rp425.154.616	Rp30.044.352.624

Perhitungan Nilai EUAC Komponen *Constant Voltage (Challenger)*

Year	Umur	Biaya O& M	Salvage Value	Biaya O&M Tahunan	Biaya Capital Recovery	EUAC
2020	1	Rp5.995.254	Rp 509.180.746	Rp 5.995.254	Rp 123.800.809	Rp 129.796.063
2021	2	Rp6.792.623	Rp 489.212.873	Rp 6.374.953	Rp 120.853.170	Rp 127.228.124
2022	3	Rp7.696.041	Rp 469.245.001	Rp 6.774.074	Rp 117.937.131	Rp 124.711.205
2023	4	Rp8.719.615	Rp 449.277.129	Rp 7.193.281	Rp 115.052.549	Rp 122.245.830

Year	Umur	Biaya O& M	Salvage Value	Biaya O&M Tahunan	Biaya Capital Recovery	EUAC
2024	5	Rp9.879.324	Rp 429.309.256	Rp 7.633.248	Rp 112.199.223	Rp 119.832.471
2025	6	Rp11.193.274	Rp 409.341.384	Rp 8.094.654	Rp 109.376.902	Rp 117.471.556
2026	7	Rp12.681.979	Rp 389.373.511	Rp 8.578.183	Rp 106.585.278	Rp 115.163.461
2027	8	Rp14.368.682	Rp 369.405.639	Rp 9.084.527	Rp 103.823.994	Rp 112.908.521
2028	9	Rp16.279.717	Rp 349.437.767	Rp 9.614.385	Rp 101.092.642	Rp 110.707.028
2029	10	Rp18.444.920	Rp 329.469.894	Rp 10.168.460	Rp 98.390.772	Rp 108.559.232
2030	11	Rp20.898.094	Rp 309.502.022	Rp 10.747.465	Rp 95.717.884	Rp 106.465.350
2031	12	Rp23.677.540	Rp 289.534.150	Rp 11.352.118	Rp 93.073.444	Rp 104.425.562
2032	13	Rp26.826.653	Rp 269.566.277	Rp 11.983.147	Rp 90.456.874	Rp 102.440.021
2033	14	Rp30.394.598	Rp 249.598.405	Rp 12.641.287	Rp 87.867.567	Rp 100.508.854
2034	15	Rp34.437.080	Rp 229.630.532	Rp 13.327.283	Rp 85.304.880	Rp 98.632.163
2035	16	Rp39.017.211	Rp 209.662.660	Rp 14.041.890	Rp 82.768.148	Rp 96.810.037
2036	17	Rp44.206.500	Rp 189.694.788	Rp 14.785.874	Rp 80.256.675	Rp 95.042.549
2037	18	Rp50.085.965	Rp 169.726.915	Rp 15.560.013	Rp 77.769.751	Rp 93.329.764
2038	19	Rp56.747.398	Rp 149.759.043	Rp 16.365.097	Rp 75.306.644	Rp 91.671.741
2039	20	Rp64.294.802	Rp 129.791.170	Rp 17.201.932	Rp 72.866.610	Rp 90.068.542
2040	21	Rp72.846.011	Rp 109.823.298	Rp 18.071.336	Rp 70.448.894	Rp 88.520.230
2041	22	Rp82.534.530	Rp 89.855.426	Rp 18.974.148	Rp 68.052.733	Rp 87.026.881
2042	23	Rp93.511.623	Rp 69.887.553	Rp 19.911.219	Rp 65.677.361	Rp 85.588.580
2043	24	Rp105.948.668	Rp 49.919.681	Rp 20.883.423	Rp 63.322.010	Rp 84.205.432
2044	25	Rp120.039.841	Rp 29.951.809	Rp 21.891.652	Rp 60.985.912	Rp 82.877.564
2045	26	Rp136.005.140	Rp 9.983.936	Rp 22.936.822	Rp 58.668.305	Rp 81.605.127
2046	27	Rp154.093.824	Rp -	Rp 24.019.870	Rp 57.284.382	Rp 81.304.252
2047	28	Rp174.588.303	Rp -	Rp 25.141.757	Rp 56.857.555	Rp 81.999.312

Year	Umur	Biaya O& M	Salvage Value	Biaya O&M Tahunan	Biaya Capital Recovery	EUAC
2048	29	Rp197.808.547	Rp -	Rp 26.303.472	Rp 56.475.013	Rp 82.778.485
2049	30	Rp224.117.083	Rp -	Rp 27.506.030	Rp 56.131.688	Rp 83.637.718
2050	31	Rp253.924.656	Rp -	Rp 28.750.475	Rp 55.823.176	Rp 84.573.651
2051	32	Rp287.696.635	Rp -	Rp 30.037.882	Rp 55.545.639	Rp 85.583.521
2052	33	Rp325.960.287	Rp -	Rp 31.369.358	Rp 55.295.716	Rp 86.665.074
2053	34	Rp369.313.005	Rp -	Rp 32.746.041	Rp 55.070.458	Rp 87.816.499
2054	35	Rp418.431.635	Rp -	Rp 34.169.107	Rp 54.867.264	Rp 89.036.371
2055	36	Rp474.083.043	Rp -	Rp 35.639.767	Rp 54.683.839	Rp 90.323.607
2056	37	Rp537.136.087	Rp -	Rp 37.159.271	Rp 54.518.151	Rp 91.677.422

Perhitungan Nilai EUAC Komponen *Generator Transformer (Challenger)*

Year	Umur	Biaya O& M	Salvage Value	Biaya O&M Tahunan	Biaya Capital Recovery	EUAC
2020	1	Rp382.819.040	Rp32.513.066.042	Rp382.819.040	Rp7.905.137.626	Rp8.287.956.666
2021	2	Rp421.100.944	Rp31.238.043.845	Rp401.048.518	Rp7.716.920.063	Rp8.117.968.581
2022	3	Rp463.211.038	Rp29.963.021.647	Rp419.828.735	Rp7.530.720.231	Rp7.950.548.967
2023	4	Rp509.532.142	Rp28.687.999.449	Rp439.157.201	Rp7.346.529.000	Rp7.785.686.200
2024	5	Rp560.485.356	Rp27.412.977.251	Rp459.030.447	Rp7.164.333.669	Rp7.623.364.116
2025	6	Rp616.533.892	Rp26.137.955.054	Rp479.444.056	Rp6.984.118.051	Rp7.463.562.107
2026	7	Rp678.187.281	Rp24.862.932.856	Rp500.392.685	Rp6.805.862.573	Rp7.306.255.257
2027	8	Rp746.006.009	Rp23.587.910.658	Rp521.870.100	Rp6.629.544.398	Rp7.151.414.498
2028	9	Rp820.606.610	Rp22.312.888.460	Rp543.869.218	Rp6.455.137.568	Rp6.999.006.786
2029	10	Rp902.667.271	Rp21.037.866.263	Rp566.382.144	Rp6.282.613.163	Rp6.848.995.307

Year	Umur	Biaya O& M	Salvage Value	Biaya O&M Tahunan	Biaya Capital Recovery	EUAC
2030	11	Rp992.933.998	Rp19.762.844.065	Rp589.400.222	Rp6.111.939.474	Rp6.701.339.696
2031	12	Rp1.092.227.398	Rp18.487.821.867	Rp612.914.088	Rp5.943.082.188	Rp6.555.996.276
2032	13	Rp1.201.450.138	Rp17.212.799.669	Rp636.913.719	Rp5.776.004.590	Rp6.412.918.309
2033	14	Rp1.321.595.151	Rp15.937.777.472	Rp661.388.494	Rp5.610.667.765	Rp6.272.056.259
2034	15	Rp1.453.754.666	Rp14.662.755.274	Rp686.327.250	Rp5.447.030.814	Rp6.133.358.064
2035	16	Rp1.599.130.133	Rp13.387.733.076	Rp711.718.342	Rp5.285.051.073	Rp5.996.769.415
2036	17	Rp1.759.043.146	Rp12.112.710.878	Rp737.549.702	Rp5.124.684.332	Rp5.862.234.034
2037	18	Rp1.934.947.461	Rp10.837.688.681	Rp763.808.901	Rp4.965.885.054	Rp5.729.693.955
2038	19	Rp2.128.442.207	Rp9.562.666.483	Rp790.483.208	Rp4.808.606.599	Rp5.599.089.807
2039	20	Rp2.341.286.428	Rp8.287.644.285	Rp817.559.650	Rp4.652.801.436	Rp5.470.361.086
2040	21	Rp2.575.415.071	Rp7.012.622.088	Rp845.025.069	Rp4.498.421.353	Rp5.343.446.422
2041	22	Rp2.832.956.578	Rp5.737.599.890	Rp872.866.175	Rp4.345.417.668	Rp5.218.283.843
2042	23	Rp3.116.252.235	Rp4.462.577.692	Rp901.069.604	Rp4.193.741.418	Rp5.094.811.022
2043	24	Rp3.427.877.459	Rp3.187.555.494	Rp929.621.967	Rp4.043.343.550	Rp4.972.965.517
2044	25	Rp3.770.665.205	Rp1.912.533.297	Rp958.509.900	Rp3.894.175.097	Rp4.852.684.998
2045	26	Rp4.147.731.725	Rp637.511.099	Rp987.720.106	Rp3.746.187.348	Rp4.733.907.454
2046	27	Rp4.562.504.898	Rp-	Rp1.017.239.400	Rp3.657.818.770	Rp4.675.058.170
2047	28	Rp5.018.755.388	Rp-	Rp1.047.054.748	Rp3.630.564.314	Rp4.677.619.062
2048	29	Rp5.520.630.926	Rp-	Rp1.077.153.303	Rp3.606.137.606	Rp4.683.290.909
2049	30	Rp6.072.694.019	Rp-	Rp1.107.522.435	Rp3.584.215.000	Rp4.691.737.436
2050	31	Rp6.679.963.421	Rp-	Rp1.138.149.763	Rp3.564.515.388	Rp4.702.665.151
2051	32	Rp7.347.959.763	Rp-	Rp1.169.023.179	Rp3.546.793.627	Rp4.715.816.806
2052	33	Rp8.082.755.739	Rp-	Rp1.200.130.871	Rp3.530.835.161	Rp4.730.966.033
2053	34	Rp8.891.031.313	Rp-	Rp1.231.461.342	Rp3.516.451.576	Rp4.747.912.917
2054	35	Rp9.780.134.445	Rp-	Rp1.263.003.425	Rp3.503.476.906	Rp4.766.480.331

Year	Umur	Biaya O& M	<i>Salvage Value</i>	Biaya O&M Tahunan	Biaya <i>Capital Recovery</i>	EUAC
2055	36	Rp10.758.147.889	Rp-	Rp1.294.746.299	Rp3.491.764.559	Rp4.786.510.858
2056	37	Rp11.833.962.678	Rp-	Rp1.326.679.497	Rp3.481.184.720	Rp4.807.864.217

BIODATA PENULIS



Nada Farah Diba lahir di Gresik, 3 Januari 1998. Penulis menempuh pendidikan di SD Muhammadiyah 1 GKB (2004 – 2010), SMP Muhammadiyah 12 GKB (2010 – 2013), SMA Negeri 1 Gresik (2013 – 2016), hingga ke jenjang sarjana di Departemen Teknik Sistem dan Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di berbagai organisasi, panitia, lomba, dan magang. Organisasi yang diikuti penulis adalah Wakil Ketua Divisi IE Fair (2018 – 2019), Staff Divisi IE Fair (2017 – 2018), dan Asisten Laboratorium *Quantitative Modeling and Industrial Policy Analysis (QMIPA)* (2018 – 2020). Penulis juga aktif di beberapa kepanitiaan yaitu panitia pelatihan *software* ARENA, LINGO, dan Matlab (2018 – 2019), Sie Sekretariat INILHO ITS (2017 – 2018), dan Staff ITS Mengajar For Indonesia (IFI) (2017). Penulis aktif di beberapa ajang perlombaan dan mendapatkan Juara 2 lomba keilmuan Teknik Industri “Industrial Creative Season (INCREASE)” 2019 oleh Telkom University Bandung, Finalis lomba *Business Case* “M-BION” 2019 oleh Universitas Internasional Semen Indonesia, dan Finalis Lomba Karya Tulis Ilmiah “Masterpiece” 2018 oleh Universitas Diponegoro. Penulis juga aktif magang di beberapa perusahaan seperti PT. Ternaknesia Farm Innovation di Divisi Ternakmart *Batch* 3, PT. Telkomsel East Division (Juni 2019 – Juli 2019), dan PT. Tokopedia Youth *Batch* 2. Penulis dapat dihubungi melalui *email* di nadafarah379@gmail.com.

