

**ANALISA KELAYAKAN INVESTASI PENGGANTIAN
MOTOR BOILER FEED PUMP (BFP) PLTU TANJUNG JATI B UNIT 1-2
MENGUNAKAN METODE CAPITAL BUDGETING**

Tesis S-2

untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Magister Teknik
Program Studi Magister Teknik Elektro



Diajukan oleh
Janu Sejati Wahyu Purbowo
20602300011

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG
2025**

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

ANALISA KELAYAKAN INVESTASI PENGGANTIAN MOTOR BOILER FEED PUMP (BFP) PLTU TANJUNG JATI B UNIT 1-2 MENGGUNAKAN METODE CAPITAL BUDGETING

Yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Janu Sejati Wahyu Purbowo

NIM : 20602300011

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji

Pada Tanggal : 29 Agustus 2025

Susunan Dewan Penguji dan Pembimbing

Pembimbing 1


Dr. Ir. Agus Adhi Nugroho, MT

NIDN : 0628086501

Penguji 1


Dr. Ir. Sukarno Budi Utomo, MT

NIDN : 06219076401

Penguji 2


Prof. Dr. Ir. Muhammad Haddin, MT

NIDN : 0618066301

Tesis ini telah disetujui sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar

Magister Teknik

Tanggal : 29 Agustus 2025

Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro


Prof. Dr. Sri Artini Dwi Prasetyowati, M.Si

NIDN : 0620026501

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Janu Sejati Wahyu Purbowo
NIM : 20602300011
Program Studi : Magister Teknik Elektro
Fakultas : Teknologi Industri

Dengan ini saya menyatakan bahwa Tesis yang diajukan kepada Program Studi Magister Teknik Elektro dengan judul:

“Analisa Kelayakan Investasi Penggantian Motor *Boiler Feed Pump* (BFP) PLTU Tanjung Jati B Unit 1-2 Menggunakan Metode *Capital Budgeting*”

Adalah hasil karya sendiri, judul tersebut belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Magister Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung (UNISSULA) ataupun pada Universitas lain serta belum pernah ditulis maupun diterbitkan oleh orang lain kecuali secara tertulis diacu, disitasi dan ditunjuk dalam daftar pustaka. Tesis ini adalah milik saya, segala bentuk kesalahan dan kekeliruan dalam Tesis ini adalah tanggung jawab saya.

Semarang, 29 Agustus 2025
Penulis



Janu Sejati Wahyu Purbowo
20602300011

KATA PENGANTAR

Assalamu 'alaikum Warrohmatullahi Wababakatuh.

Puji syukur kami panjatkan kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan ini. Penyusunan laporan ini tidak pernah terlepas dari bantuan beberapa pihak, baik dalam hal materi, dorongan dan semangat serta bimbingan dari beberapa pihak, untuk itu ijinkan penulis untuk menghaturkan ucapan terima kasih kepada:

1. Ibu Novi Mariyana selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Ibu Sri Arttini Dwi Prasetyowati selaku ketua Program studi Magister Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Bapak Agus Adhi Nugroho selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, bantuan, koreksi, arahan dan keluangan waktu serta dorongan untuk segera menyelesaikan tulisan ini.
4. Bapak Soekarno selaku ketua dosen penguji yang telah memberikan bimbingan, bantuan, koreksi, arahan dan keluangan waktu serta dorongan untuk segera menyelesaikan tulisan ini.
5. Bapak Muhamad Haddin selaku dosen penguji yang telah memberikan bimbingan, bantuan, koreksi, arahan dan keluangan waktu serta dorongan untuk segera menyelesaikan tulisan ini.
6. Seluruh dosen Magister Teknik Elektro Unissula yang telah menyampaikan ilmu-ilmu Teknik Elektro yang sangat bermanfaat, baik dalam bentuk teori maupun praktek.

Dalam laporan ini penulis menyadari masih jauh dari sempurna, untuk itu kritik, saran dan masukan yang sifatnya membangun akan dengan senang hati penulis terima untuk perbaikan ke depan.

Akhir kata, penulis memohon maaf atas segala kesalahan dan kekhilafan yang terjadi dalam penyusunan laporan ini.

Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
ABSTRAK	x
ABSTRACT.....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan Penelitian	4
1.5. Manfaat Penelitian	4
1.6. Keaslian Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	7
2.1. Tinjauan Pustaka.....	7
2.2. Landasan Teori.....	9
2.2.1. Prinsip Kerja PLTU Tanjung Jati B Unit 1-2	9
2.2.2. Siklus Air dan Uap dalam PLTU	16
2.2.3. Boiler Feed Pump (BFP).....	17
2.2.4. Menentukan Beban Motor.....	19
2.2.5. Analisa Tingkat Kekritisian Peralatan.....	20
2.2.6. Manajemen Energi	22
2.2.7. Manajemen Risiko	25
2.2.8. Capital Budgeting	28
2.2.9. Kelayakan Investasi	29

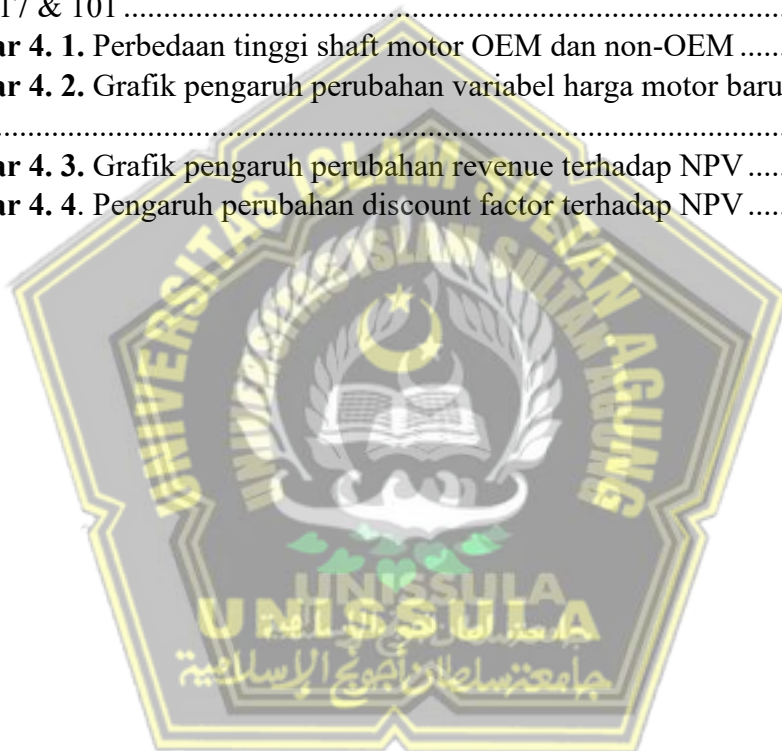
2.2.10.	Cash Flow	29
2.2.11.	Payback Period.....	30
2.2.12.	Net Present Value (NPV)	30
2.2.13.	Internal Rate of Return (IRR)	32
2.2.14.	Analisa Sensitifitas.....	33
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		35
3.1.	Metode Penelitian	35
3.2.	Alat dan Bahan.....	38
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		41
4.1.	Deskripsi Objek Penelitian.....	41
4.2.	Pemilihan Alternatif.....	42
4.3.	Asumsi Yang Digunakan Dalam Perhitungan.....	51
4.4.	Perhitungan Capital Budegeting	56
4.4.1.	Payback Period.....	56
4.4.2.	Net Present Value.....	56
4.4.3.	IRR.....	57
4.5.	Analisa Sensitifitas.....	60
4.5.1.	Sensitifitas Terhadap Kenaikan Harga Motor.....	60
4.5.2.	Sensitifitas Terhadap Penurunan Revenue.....	61
4.5.3.	Sensitifitas Terhadap Perubahan Discount Factor	62
4.6.	Pengaruh penggantian motor BFP terhadap kondisi eksisting.....	63
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		64
5.1.	Kesimpulan	64
5.2.	Saran	64
DAFTAR PUSTAKA.....		65
LAMPIRAN.....		68

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Matrix 5 x 5 ECA	20
Tabel 2. 2. Tingkat kemungkinan	21
Tabel 2. 3. Skala dampak.....	21
Tabel 2. 4. Redudancy level.....	22
Tabel 2. 5. Faktor-faktor yang mempengaruhi kelayakan ekonomi dalam penggunaan motor efisiensi tinggi	24
Tabel 2. 6. Kriteria tingkat kemungkinan	26
Tabel 2. 7. Kriteria tingkat dampak	27
Tabel 3. 1. Data spesifikasi motor BFP PLTU Tanjung Jati B Unit 1-2	39
Tabel 4. 1. Pros dan cons masing-masing opsi	43
Tabel 4. 2. Perbandingan spesifikasi motor OEM dan non-OEM	46
Tabel 4. 3. Identifikasi Risiko.....	48
Tabel 4. 4. Matrix Risiko	49
Tabel 4. 5. Perlakuan Risiko	49
Tabel 4. 6. Running hours motor	52
Tabel 4. 7. Arus motor baru dan motor eksisting.....	52
Tabel 4. 8. Load characteristic motor baru	52
Tabel 4. 9. Komparasi motor eksisting, motor baru, motor rewinding.....	55
Tabel 4. 10. Perbandingan alternatif 1 dan alternatif 2.....	58
Tabel 4. 11. Komparasi akhir masing-masing opsi.....	59
Tabel 4. 12. Sensitifitas atas kenaikan nilai investasi.....	60
Tabel 4. 13. Sensitifitas atas perubahan revenue	61
Tabel 4. 14. Sensitifitas atas perubahan discount factor.....	62

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Proses kerja PLTU Tanjung Jati B Unit 1 dan 2	10
Gambar 2. 2. Siklus air dan uap PLTU	17
Gambar 2. 3. Susunan peralatan utama pada BFP	18
Gambar 2. 4. Skema variasi putaran BFP	18
Gambar 2. 5. BFP PLTU Tanjung Jati B	19
Gambar 2. 6. Hubungan antara ketidakpastian, peluang, risiko dan sasaran	25
Gambar 3. 1. Diagram alir penelitian	38
Gambar 3. 2. Gambar Kurva Temperatur terhadap Umur Motor berdasarkan IEEE 117 & 101	40
Gambar 4. 1. Perbedaan tinggi shaft motor OEM dan non-OEM	46
Gambar 4. 2. Grafik pengaruh perubahan variabel harga motor baru terhadap NPV	61
Gambar 4. 3. Grafik pengaruh perubahan revenue terhadap NPV	62
Gambar 4. 4. Pengaruh perubahan discount factor terhadap NPV	63



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Tampilan aplikasi TOPi PLTU Unit 1-2	69
Lampiran 2. Data hasil download TOPi	70
Lampiran 3. Tabel PVIFA	71



ABSTRAK

Boiler Feed Pump (BFP) pada PLTU Unit 1-2 yang sudah beroperasi selama 17 tahun hingga saat ini telah terjadi beberapa kali gangguan yang berpengaruh terhadap keandalan dan efisien operasional Unit. Gangguan yang terjadi diantaranya disebabkan temperature winding naik mencapai $> 135\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan berlangsung beberapa lama hingga motor trip. Sebagai pengguna energi listrik terbesar, efisiensi operasi motor BFP sangat berkontribusi terhadap pemakaian sendiri Unit PLTU, berdasar parameter operasi yang terbaca dari aplikasi TOPi, terdapat perbedaan yang cukup besar atas Arus motor BFP 1B (motor baru sejak Desember 2019) dengan motor BFP 1A dan 1C (motor lama) yang mengindikasikan bahwa motor lama sudah mengalami penurunan efisiensi akibat aging. Penurunan efisiensi yang terjadi pada motor penggerak utama BFP turut menyumbang tingginya konsumsi listrik untuk pemakaian sendiri Unit 1-2 mencapai sekitar 7,2 % dari energi gross yang dibangkitkan atau setara 732.583 mWh. Penelitian ini membahas tentang analisa kelayakan investasi penggantian motor BFP di PLTU Tanjung Jati B Unit 1-2 menggunakan metode *Capital Budgeting*. Penelitian ini dilakukan dengan melakukan analisa lanjutan atas opsi penggantian motor penggerak BFP menggunakan perhitungan *Payback Period*, *Net Present Value*, dan *Internal Rate Return* setelah sebelumnya dilakukan penilaian risiko dan analisa kelayakan dari sisi teknis untuk mendapatkan alternatif yang paling layak. Berdasarkan analisa *Capital Budgeting* yang dilakukan, opsi penggantian motor BFP baru sesuai eksisting dengan spesifikasi sistem pendinginan yang ditingkatkan layak untuk dilakukan karena menghasilkan nilai *Payback Period* 3,48 tahun < 10 tahun (asumsi umur investasi), *Net Present Value* 8.041.862. 217 > 0 dan *Internal Rate Return* sebesar 25,93% $> 10\%$ (asumsi *discount rate*) sehingga berpotensi menguntungkan di masa mendatang. Potensi penurunan energi pemakaian sendiri dengan penggantian motor BFP adalah sebesar 9.294.618 kWh per tahun.

Kata kunci: Kelayakan, Investasi, BFP, *Capital Budgeting*, *Payback period*, *Net Present Value*, *Internal Rate Return*, Tanjung Jati B

ABSTRACT

Boiler Feed Pump (BFP) at PLTU Unit 1-2 which has been operating for 17 years until now has experienced several disturbances that affect the reliability and operational efficiency of the Unit. The disturbances that occurred were caused by the winding temperature rising to $> 135^{\circ}\text{C}$ and lasted for some time until the motor tripped. As the largest user of electrical energy, the operational efficiency of the BFP motor greatly contributes to the self-use of the PLTU Unit, based on the operational parameters read from the TOPi application, there is a significant difference in the BFP 1B motor current (new motor since December 2019) with BFP 1A and 1C motors (old motors) which indicates that the old motor has experienced a decrease in efficiency due to aging. The decrease in efficiency that occurred in the BFP main drive motor also contributed to the high electricity consumption for the self-use of Unit 1-2 reaching around 7.2% of the gross energy generated or equivalent to 732,583 mWh. This study discusses the feasibility analysis of BFP motor replacement investments at PLTU Tanjung Jati B Unit 1-2 using the Capital Budgeting method. This research was conducted by conducting further analysis on the BFP drive motor replacement option using Payback Period, Net Present Value, and Internal Rate Return calculations after previously conducting risk assessment and feasibility analysis from a technical perspective to obtain the most feasible alternative. Based on the Capital Budgeting analysis conducted, the option of replacing the new BFP motor according to the existing one with improved cooling system specifications is feasible because it produces a Payback Period of 3.48 years < 10 years (assuming investment life), Net Present Value of 8,041,862.217 > 0 and Internal Rate Return of 25.93% $> 10\%$ (assuming discount rate) so that it has the potential to be profitable in the future. The potential reduction in own energy consumption by replacing the BFP motor is 9,294,618 kWh per year.

Keyword: Feasibility, Investment, BFP, Capital Budgeting, Payback period, Net Present Value, Internal Rate Return, Tanjung Jati B

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

PLTU Tanjung Jati B adalah salah satu kompleks pembangkit tenaga uap berbahan bakar batu bara di sistem Interkoneksi Jawa Madura Bali dengan kapasitas 2.640 MW Nett atau sekitar 11% dari total kebutuhan daya listrik sistem JAMALI (PLN UIK Tanjung Jati B Sukses Pasok Listrik Andal Selama Periode Siaga Nataru, 2025). PLTU Tanjung Jati B terletak di Desa Tubanan Kecamatan Kembang Kabupaten Jepara Jawa Tengah, menempati area sekitar 150 hektar. Energi listrik yang dihasilkan disalurkan melalui saluran udara tegangan tinggi dan saluran udara tegangan ekstra tinggi. PLTU Tanjung Jati B didukung oleh 4 Unit pembangkit sebagai berikut: PLTU Unit #1 dan #2 (2 x 660 MW Nett) beroperasi secara komersial pada tanggal 1 Oktober dan 1 November 2006. Dalam kegiatan pengoperasian dan pemeliharaan unit ini, PLN berkontrak dengan PT TJBPS sebagai Perusahaan jasa Operation & Maintenance (O&M) dan PLTU Unit #3 dan #4 (2 x 660 MW Nett) beroperasi secara komersial pada tanggal 25 Oktober 2011 dan 25 Januari 2012. Dalam kegiatan pengoperasian dan pemeliharaan unit ini, PLN berkontrak dengan PT KPJB sebagai Perusahaan jasa Operation & Maintenance (O&M).

PLTU Tanjung Jati B unit 1 – 4 menggunakan boiler *sub critical* yang menghasilkan uap superheat untuk memutar turbin uap dengan tekanan 166 bar dan temperature 538 °C pada kondisi *Economic Continuous Rate* (ECR) 100%. Berdasarkan siklus rankine, tekanan awal dihasilkan oleh *Boiler Feed Pump* (BFP) yang memompa air pengisi Boiler dari *Deaerator* ke *Boiler Drum* dengan menaikkan tekanan dari 8,33 bar menjadi 208,2 bar ('Heat Steam Balance Diagrams PLTU TJB Unit 1&2', no date). Berdasarkan data operasi, secara umum terdapat perbedaan yang cukup mencolok antara unit 1-2 dengan unit 3-4 dari sisi pemakaian tenaga listrik untuk pemakaian sendiri (PS) yang akhirnya berpengaruh pada efisiensi unit secara keseluruhan. Secara desain terdapat perbedaan sistem penggerak mula *Boiler Feed Pump* di PLTU Unit 1-2 dengan Unit 3-4, dimana pada PLTU

Unit 1-2 menggunakan motor listrik sebagai penggerak mula nya atau biasa disebut sebagai BFP-M, sedangkan pada Unit 3-4 menggunakan turbin uap sebagai penggerak mula nya atau biasa disebut sebagai BFP-T. *Boiler Feed Pump* adalah salah satu *critical equipment* dalam sebuah PLTU, pada PLTU Unit 1-2 masing-masing unit terpasang 3 unit BFP-M dengan skema operasi 2 unit beroperasi kontinyu dan 1 unit standby ('Plant Basic Operating Description', 2004), jika ada salah satu unit mengalami kegagalan secara otomatis BFP yang diposisikan standby akan beroperasi, pada beberapa saat unit PLTU akan masuk dalam mode *runback* dimana beban akan turun hingga mencapai lebih dari 50%. Pada kondisi tertentu di luar perkiraan, proses *change over* ini dapat mengalami kegagalan hingga menyebabkan unit PLTU trip. Oleh karena itu *performance* BFP baik itu dari sisi pompa, fluid coupling dan motor penggeraknya harus dipastikan dalam kondisi normal siap beroperasi.

Permasalahan, kondisi saat ini berdasar riwayat operasi yang ada selama 17 tahun unit beroperasi hingga saat ini telah terjadi beberapa kali gangguan pada motor BFP yang berpengaruh terhadap keandalan dan efisien operasional PLTU Unit 1-2. Gangguan yang terjadi diantaranya disebabkan temperature winding naik mencapai $> 135^{\circ}\text{C}$ dan berlangsung beberapa lama hingga motor trip. Sebagai pengguna energi listrik terbesar, efisiensi operasi motor BFP sangat berkontribusi terhadap pemakaian sendiri Unit PLTU, berdasar parameter operasi yang terbaca dari aplikasi TOPi, terdapat perbedaan yang cukup besar atas Arus motor BFP 1B (motor baru sejak Desember 2019) dengan motor BFP 1A dan 1C (motor lama) yang mengindikasikan bahwa motor lama sudah mengalami penurunan efisiensi akibat aging.

Akibat dari penurunan efisiensi motor yang terjadi, hal tersebut turut menyumbang tingginya konsumsi listrik untuk pemakaian sendiri Unit 1-2 mencapai sekitar 7,2 % dari energi gross yang dibangkitkan atau setara 732.583 mWh dimana salah satu penggunaan listrik terbesar adalah untuk BFP, sementara konsumsi listrik untuk pemakaian sendiri Unit 3-4 sekitar 5,24 % atau setara 543.296 mWh.

Solusi terhadap permasalahan tersebut dilakukan dengan metode *capital budgeting* berupa proses secara keseluruhan yang meliputi pengumpulan, evaluasi, seleksi hingga penentuan alternatif atas sebuah investasi yang menguntungkan perusahaan dengan horizon waktu lebih dari setahun. Semakin tua umur motor eksisting, justifikasi untuk penggantian motor semakin kuat karena faktor umur sisa (remaining) motor yang pendek dan terjadinya penurunan efisiensi karena aging (Dr Jayamaha, 2018). Ketika motor mengalami gangguan dan harus dilakukan perbaikan, penurunan efisiensi dan biaya repair harus dipertimbangkan. Semakin tinggi biaya repair dan semakin tinggi penurunan efisiensi, semakin kuat alasan dan justifikasi untuk penggantian motor baru yang lebih efisien.

Berdasarkan uraian tersebut di atas, maka penulis membahas tentang Analisa Kelayakan Investasi Penggantian Motor *Boiler Feed Pump* (BFP) PLTU Tanjung Jati B Unit 1-2 Menggunakan Metode *Capital Budgeting*. Penelitian ini dilakukan dengan melakukan analisa lanjutan atas opsi penggantian motor penggerak BFP menggunakan perhitungan *Payback Period*, *Net Present Value*, *Internal Rate Return* setelah sebelumnya dilakukan penilaian risiko dan analisa kelayakan dari sisi teknis untuk mendapatkan alternatif yang paling layak.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut di atas, maka penulis menetapkan rumusan masalah yang diangkat dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana kelayakan investasi atas pilihan alternatif penggantian motor BFP dengan spesifikasi sistem pendingan yang ditingkatkan?
2. Bagaimana pengaruh alternatif solusi yang terpilih terhadap potensi penurunan energi Pemakaian Sendiri?

1.3. Batasan Masalah

Penulis membatasi permasalahan dalam penelitian yang dilakukan ini dengan tujuan untuk mempersempit ruang lingkup penelitian sehingga lebih fokus dan terkonsentrasi pada permasalahan yang diangkat, sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan pada Motor BFP PLTU Unit 1 dan 2 karena memiliki kapasitas motor paling besar diantara *equipment* yang lain dan memiliki riwayat *high temperature* pada windingnya.
2. Pendekatan analisa biaya menggunakan perhitungan *Payback Period* (PP), *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate Return* (IRR).

1.4. Tujuan Penelitian

Berdasarkan permasalahan yang telah dirumuskan sebelumnya, maka tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui kelayakan investasi atas penggantian motor *Boiler Feed Pump* dengan teknologi pendingin yang baru menggunakan metode *Capital Budgeting*.
2. Mengetahui potensi penurunan energi Pemakaian Sendiri (PS) atas alternatif yang dipilih.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sebagai salah satu referensi atau pertimbangan dalam menentukan kelayakan penggantian suatu peralatan (*equipment*) dari sudut pandang investasi.
2. Sebagai upaya strategi penurunan energi pemakaian sendiri unit pembangkit yang berpengaruh terhadap efisiensi unit secara keseluruhan.

1.6. Keaslian Penelitian

Efisiensi pembangkit selalu menjadi salah satu objektif utama dalam pengoperasian unit pembangkit yang salah satu nya ditentukan dari sebagaimana hemat dalam penggunaan energi pemakaian sendiri. Optimalisasi pemakaian sendiri salah satu nya dilakukan dengan melakukan penggantian *equipment* atau peralatan yang *performance* nya mengalami penurunan karena *lifetime* operasi dan tidak bisa dipertahankan hanya dengan perlakuan *maintenance* berkala.

Keaslian penelitian ini meliputi pada konteks spesifik PLTU Tanjung Jati B Unit 1-2 dimana penelitian dilakukan, pendekatan metodologis yang diterapkan, data empiris yang dikumpulkan adalah data yang terkini dan relevan dengan kondisi

nyata di lokasi penelitian meliputi data biaya investasi, proyeksi penghematan, dan analisa sensitifitas yang digunakan, serta temuan yang dihasilkan. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi baru dan orisinil dalam bidang analisis kelayakan investasi pada sektor pembangkit listrik, khususnya terkait penggantian motor *Boiler Feed Pump* (BFP) menggunakan metode *Capital Budgeting*. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi salah satu referensi penting bagi Manajemen PLTU Tanjung Jati B Unit 1-2 dan industri pembangkitan listrik pada umumnya dalam membuat keputusan investasi yang lebih baik dan berdasarkan analisis yang komprehensif.

Temuan dari penelitian ini memberikan wawasan baru tentang kelayakan investasi penggantian motor BFP di PLTU Tanjung Jati B Unit 1-2 menggunakan metode *Capital Budgeting* yang dapat berbeda dengan temuan di lokasi atau konteks lain. Analisis sensitivitas dan evaluasi risiko yang dilakukan dalam penelitian ini juga memberikan kontribusi unik dalam memahami faktor-faktor yang mempengaruhi keberhasilan investasi di lokasi tersebut.

Beberapa kajian dan studi dengan topik dan bahasan terkait investasi penggantian motor atau equipment eksisting yang lain, sudah banyak dilakukan pada beberapa pembangkit atau industri lainnya:

1. Analisa kelayakan atas pekerjaan penggantian material *nozzle sootblower* pada sebuah PLTU di Paiton Jawa Timur (Wijayanti and Sutopo, 2017). Penggantian *nozzle* dengan tipe tekanan yang lebih rendah sehingga diharapkan tidak terjadi pemborosan energi dengan tetap mempertimbangkan keandalan dan efisiensi unit. Kajian kelayakan investasi penggantian dilakukan dengan perhitungan NPV dan IRR serta Payback period.
2. Analisa Penggantian Generator Pembangkit (Studi Kasus PLTU Labuhan) (Luthfi, 2020). Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan alternatif peningkatan keandalan pembangkit menggunakan metode life cycle cost dan replacement analysis.
3. Studi Kelayakan Penggantian Kendaraan Operasional PTVI berbasis Energi Fosil menjadi Kendaraan Listrik (Kurniawan, 2019). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa dampak dari konversi bus konvensional dengan bus listrik

dalam kaitannya dengan emisi gas rumah kaca dan dari sisi kelayakan ekonomis terkait jangka waktu pengembalian modalnya sekitar 15 tahun.

4. Analisa Kelayakan Investasi Penggantian Mesin Bag Making di PT X (Citrasari and Imam, 2021). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kelayakan rencana Perusahaan dalam penggantian aktiva tetap yang telah dioperasikan selama 20 tahun di sebuah Perusahaan yang memproduksi kemasan plastic menggunakan metode Net Present Value (NPV) dan Profitability Index (PI).
5. Analisa Investasi Alat Berat Pada Proyek Swakelola Yayasan Badan Wakaf Universitas Islam Indonesia (Rasid, 2020). Penelitian untuk menganalisis perbandingan sistem pemakaian alat berat antara sewa dan beli. Analisa kelayakan beli dilakukan dengan menghitung kelayakan investasi menggunakan 4 metode yaitu Net Present Value (NPV), Break Event Point (BEP), Internal Rate of Return (IRR) dan Pay Back Period (PP).
6. Penelitian yang membahas tentang model optimasi atas penggantian suatu peralatan berdasar usia pakainya dengan minimasi biaya perbaikan berdasarkan batasan biaya perbaikan kumulatif dan waktu pekerjaan yang acak (Chien and Chen, 2007). Dengan model ini selanjutnya ditentukan apakah peralatan yang rusak layak untuk diperbaiki atau diganti baru.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Dalam melakukan penelitian dengan tema Analisa Kelayakan Investasi Penggantian Motor *Boiler Feed Pump* (BFP) PLTU Tanjung Jati B Unit 1-2 Menggunakan Metode *Capital Budgeting*, penting untuk merujuk pada literatur maupun penelitian-penelitian sebelumnya yang relevan. Beberapa penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan analisis kelayakan investasi, penggantian komponen pembangkit listrik, dan penggunaan metode *capital budgeting* dapat dijadikan sebagai referensi.

Penelitian sebelumnya banyak yang membahas tentang analisis kelayakan investasi di sektor energi, khususnya pembangkit listrik. Misalnya, studi oleh Muhammad Idwenda Dachyar (2012) yang berjudul “Analisa Kelayakan Investasi dan Risiko Proyek Pembangunan PLTU Indramayu PT PLN (Persero)”. Penelitian ini menganalisa kelayakan investasi dan risiko dari aspek keuangan dengan mempertimbangkan bunga pinjaman dalam mata uang asing. Dalam penelitian ini dihasilkan NPV sebesar 36 Triliun dan IRR sebesar 9,03%. Penelitian ini juga menggunakan simulasi *Monte Carlo* dalam analisis risiko terhadap potensi fluktuasi beberapa parameter yang digunakan dalam perhitungan.

Analisa kelayakan atas pekerjaan penggantian material *Nozzle Sootblower* pada sebuah PLTU di Paiton Jawa Timur (Wijayanti and Sutopo, 2017). Kajian ini dilakukan dengan alternatif penggantian tipe dan spesifikasi tekanan yang berbeda karena disimpulkan bahwa tipe *nozzle* yang terpasang saat ini tidak sesuai dengan kondisi tekanan idealnya sehingga menyebabkan konsumsi steam lebih tinggi dari kondisi seharusnya dan menyebabkan pemborosan energi. Penggantian *nozzle* dengan tipe yang diusulkan dimana tekanan lebih rendah, diharapkan tidak terjadi pemborosan energi dengan tetap mempertimbangkan keandalan dan efisiensi unit. Kajian kelayakan investasi penggantian dilakukan dengan perhitungan NPV dan IRR serta Payback period.

Analisa kelayakan investasi atas alternatif penggantian mesin produksi di sebuah perusahaan percetakan di daerah Kudus Jawa Tengah (Oktaviyani, 2013). Kajian dilakukan dengan mempertimbangkan 2 alternatif mesin produksi dari merk yang berbeda Printmaster atau Heidelberg Speedmaster menggunakan metode *Nett Present Value*, metode *Payback Period* dan *Break Event Point* serta Analisa kualitatif. Hasil dari perhitungan yang dilakukan, penggantian menggunakan merk Printmaster lebih layak karena menghasilkan NPV positif 13,88% dengan durasi pengembalian modal selama 1,3 tahun dibanding perkiraan umur mesin (10 tahun).

Analisa biaya manfaat yang dilakukan atas perbaikan sistem kerja berupa metode *Palletizing Delivery* dibandingkan dengan metode manual, penelitian yang dilakukan bergerak di bidang *fast moving consumer goods* PT Unilever Indonesia. Hasil analisa atas investasi yang dilakukan diperoleh penurunan waktu kerja dapat sehingga lebih efisien, sementara secara *benefit cost ratio* proyek dinyatakan bermanfaat dan layak untuk diterapkan karena diperoleh nilai kemanfaatan sebesar 1.1009. Dari hasil Analisa sensitifitas biaya transportasi diperoleh hasil kenaikan 30%, sehingga rasio manfaat > 1 , hasilnya proyek layak dilaksanakan untuk meningkatkan efisiensi dan efektifitas proses di PT Unilever.

Studi untuk mengetahui dan mengukur tingkat efisiensi/*Economic Efficiency Measure* (EEM) sebagai salah satu cara yang cepat dalam mengevaluasi alternatif penggantian motor induksi yang mengalami kegagalan dengan motor induksi baru dibanding alternatif *rewinding* untuk biaya hidup terendah (*lowest life cycle cost*) berdasarkan efisiensi motor dan kondisi rata-rata pembebanannya (Rai, Seksena and Thakur, 2017). EEM menyediakan hal yang sederhana tetapi handal dan efektif dalam menghasilkan kajian kelayakan antara penggantian atau perbaikan motor yang mengalami kegagalan. Dalam penelitian ini diperoleh hasil untuk motor dengan kapasitas 100 hp, alternatif *rewinding* lebih layak untuk pengoperasian dalam kurun 1 tahun.

Analisa kelayakan investasi pada proyek penggantian peralatan *Secondary Crusher* pada PT Berau Coal site Binungan (Ridwan, Romli and Soeroto, 2022). Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui dan menilai kelayakan investasi atas proyek penggantian peralatan *Secondary Crusher* secara kualitatif

dan deskriptip dilihat dari sudut pandang ekonomi teknik menggunakan metode NPV, IRR, PP dan PI. Hasil penelitian menunjukkan nilai NPV 6,35 M, IRR 47%, PP 2 tahun dan PI sebesar 1,6 sehingga dinyatakan secara ekonomi bahwa proyek ini layak untuk dilaksanakan.

Studi lain yang relevan adalah penelitian oleh Mohammad Iqbal Mahardika (2018) dengan judul Penilaian Proyek dengan Menggunakan Pembiayaan Syariah (Mahardika, 2016). Penelitian ini menilai rencana pengembangan usaha PT X yang berencana membangun 2 Unit PLTU dengan kapasitas masing-masing 80 Mwe. Penilaian dilakukan dari sisi finansial menggunakan pendekatan pendapatan dengan NPV sebagai parameter penilaian. Hasil penelitian menunjukkan NPV dari pembiayaan syariah sebesar Rp.445 Miliar dan IRR sebesar 39,03%.

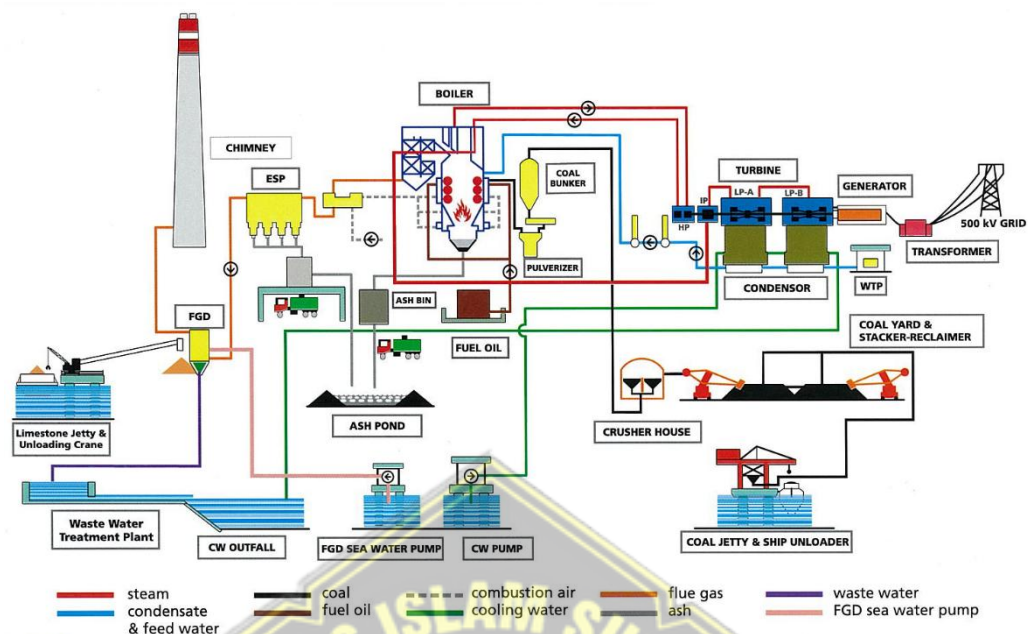
Penelitian oleh Theresia Ratna Astutiningsih (2018) yang berjudul "Analisa Kelayakan Bisnis Pada Investasi Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Meureubo 48 MW di Aceh" (Astutiningsih, 2018) memberikan panduan tentang penerapan metode capital budgeting dalam proyek infrastruktur listrik. Studi ini menekankan pentingnya menggunakan berbagai metode Capital Budgeting secara terpadu untuk mendapatkan gambaran yang komprehensif tentang kelayakan investasi.

Pada beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan metode capital budgeting dalam analisis kelayakan investasi di sektor pembangkit listrik maupun sektor industri lainnya adalah pendekatan yang umum dan efektif. Studi-studi tersebut juga menekankan pentingnya analisis sensitivitas dan evaluasi risiko dalam membuat keputusan investasi yang lebih baik. Penelitian ini akan memperluas dan memperdalam temuan-temuan tersebut dengan fokus pada penggantian motor BFP di PLTU Tanjung Jati B Unit 1-2.

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Prinsip Kerja PLTU Tanjung Jati B Unit 1-2

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah salah satu jenis pembangkit listrik yang menggunakan bahan bakar fosil (batu bara) untuk menghasilkan listrik. Berikut adalah penjelasan mengenai prinsip kerja PLTU Tanjung Jati B Unit 1-2:



Gambar 2. 1. Proses kerja PLTU Tanjung Jati B Unit 1 dan 2
sumber : materi presentasi PLTU TJB

1. Bahan Bakar

PLTU Tanjung Jati B Unit 1-2 menggunakan batu bara sebagai bahan bakar utamanya. Batu bara disimpan di area penyimpanan khusus (*coal yard*) sebelum digunakan dalam proses pembangkitan listrik. Coal yard untuk PLTU Unit 1-2 memiliki kapasitas tampung sebanyak 630.000 ton. Batu bara yang digunakan sebagian besar berasal dari tambang di pulau Kalimantan dengan nilai kalori di kisaran 5.400 kcal/kg atau masuk dalam kategori *Medium Range Coal (MRC)*. Batu bara diangkut menggunakan kapal Vessel dengan kapasitas 70.000 DWT dengan durasi perjalanan laut sekitar 14 hari. Kapal Vessel akan bersandar di *Jetty* khusus PLTU Tanjung Jati B Unit 1-2 dan dilakukan pembongkaran (unloading) dengan alat bantu 2 Unit *Ship Unloader (ShunLo)* berkapasitas bongkar masing-masing 1.500 metrik ton per jam. Dari bucket ShunLo, batubara dipindahkan menggunakan *Conveyor Belt* sistem dengan kapasitas kirim 1.000 – 1.500 metrik ton per jam menuju *Coal Yard* untuk disimpan sementara atau langsung dikirimkan menuju *Coal Cylo* Unit pada kondisi-kondisi tertentu. Penempatan batu bara pada *Coal Yard* diatur sedemikian rupa berdasarkan kontrak atau asal tambangnya, selain itu pengaturan penempatan dan pengiriman

batu bara ke unit pembangkit diatur berdasarkan *Coal Yard Management System* yang mempertimbangkan beberapa hal diantaranya: jumlah stock, rencana pengiriman & realisasi pengiriman dari tambang, jumlah kebutuhan unit, spesifikasi batu bara, coal mixing strategi, dan beberapa pertimbangan lainnya.

2. Penggilingan dan Pembakaran Batu Bara

Batu bara dari tempat penyimpanan (Coal Yard) diambil (reclaim) menggunakan peralatan *Stacker & Reclaimer (STR)* selanjutnya diangkut menggunakan conveyor belt menuju ke sistem penggilingan batu bara (*coal mill/crusher*). Di sini, batu bara ditumbuk sehingga ukurannya menjadi lebih kecil untuk selanjutnya diangkut menuju Coal Silo sebagai cadangan penggunaan harian Boiler. PLTU Tanjung Jati Unit 1-2 masing-masing dilengkapi dengan 6 buah Coal Silo dengan kapasitas 8 jam pemakaian pada beban maksimal. Dari Coal silo selanjutnya batu bara akan dialirkan menuju coal feeder (6 x 73,5 ton per jam) dengan sistem gravitasi untuk diatur jumlah yang akan diumpankan menuju pulverizer (6 x 56,1 ton per jam). Di dalam pulverizer, batu bara ditumbuk menjadi serbuk halus batu bara dengan ukuran sekitar 200 mesh untuk selanjutnya diumpankan menuju ruang bakar (*furnace boiler*) dan dibakar dengan bantuan udara panas yang disuplai oleh *Primary Air Fan (PA Fan)* melalui *coal pipe* dan *coal burner nozzle*. Boiler PLTU Tanjung Jati B Unit 1-2 menggunakan formasi coal burner *front and rear*, dari sisi depan *boiler wall* disuplai menggunakan pulverizer F, A dan E, sementara dari sisi *boiler wall* belakang disuplai menggunakan pulverizer B, C dan D. Pada kondisi normal, untuk beban 660 MW Nett digunakan 5 pulverizer yang beroperasi dengan jumlah pemakaian batu bara sebanyak 264 ton per jam.

3. Pembentukan Uap

Panas yang dihasilkan dari pembakaran batu bara digunakan untuk memanaskan air di dalam boiler. Air bertekanan tinggi yang diumpankan oleh BFP menuju boiler drum berasal dari *deaerator*, air pengisi mengalami pemanasan awal pada saat melewati *High Pressure Heater (HPH) #5*, *HPH #6* dan *HPH #7* serta

economizer. Di dalam boiler drum, air pengisi mengalami pemisahan berdasarkan fasanya menggunakan sistem trapping, fasa cair jenuh secara gravitasi akan mengalir melalui downcomer menuju *bottom header* boiler untuk selanjutnya dipanaskan di dalam *riser/wall* boiler dan selanjutnya terusya menuju ke boiler drum kembali. Fasa uap campur dari boiler drum akan mengalir ke atas menuju *primary superheater tube*, *secondary superheater tube* dan *tertiary superheater tube* hingga menjadi uap panas lanjut (*superheated steam*) dengan tekanan 166 bar dan temperatur 538 °C. Boiler Feed Pump (BFP) memainkan peran penting dalam memasok air ke boiler pada tekanan yang dibutuhkan. Temperatur uap *superheater* dijaga maksimal 541 °C, pada kondisi tertentu untuk menurunkan temperature uap *superheater* dilakukan menggunakan mekanisme *de-superheater*, dimana uap di-spray menggunakan air pengisi boiler saat melewati *header de-superheater*.

4. Pemutaran Turbin

Uap panas jenuh bertekanan tinggi (*superheated steam*) diarahkan melalui system perpipaan menuju ke turbin uap (*steam turbine*). Uap ini mengalir dan diarahkan oleh sudu diam (*nozzle*) stator turbin sehingga menabrak sudu-sudu putar rotor (*blade*) turbin. Di dalam mekanisme turbin ini terjadi perubahan energi potensial yang ada dalam uap *superheated* menjadi energi kinetik sehingga menyebabkan rotor turbin berputar. PLTU Tanjung Jati B Unit 1-2 menggunakan turbine dari *manufacture* Toshiba dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Type : Three Cylinders Impulse Type, Tandem Compound Reheat Condensing Turbine
- Max. T-MCR : 719 MW
- Rated Output : 710 MW
- Heat rated (at ECR) : 1861 kcal/kWh
- Steam flow (at T-MCR) : 2213.1 ton/hour
- Speed : 3,000 rpm
- Steam pressure : 167 bar abs

- Steam temperature : 538 °C
- Reheat temperature : 538 °C
- Exhaust pressure : 0,0832 bar abs
- Jumlah stage : HP 7 stages, IP 5 stages, LP 6 stages x 4 flows.

Turbin yang berputar ini terhubung langsung dengan generator melalui poros dan kopling.

5. Pembangkitan Listrik

Ketika turbin berputar, generator yang terhubung dengannya juga berputar. PLTU Tanjung Jati B Unit 1-2 menggunakan generator dari *manufacture* Toshiba dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Type : 3 phase synchronous generator totally enclosed
- Stator Winding Cooling : Direct water cooled
- Stator Core Cooling : Hydrogen cooled
- Rotor Winding Cooling : Direct hydrogen cooled
- Excitation System : Static excitation with thyristor rectifier
- Active Power : 721,8 MW
- Apparent Power : 802 MVA
- Power Factor : 0,9 (lag) – 0,95 (lead)
- Voltage : 22,8 kV
- Speed Rotation : 3.000 rpm
- Frequency : 50 Hz
- Rated H₂ Pressure : 4,12 bar

Putaran rotor generator menyebabkan kumparan di rotor generator berputar di dalam medan magnet, menghasilkan arus listrik berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Arus listrik yang dihasilkan kemudian disalurkan ke transformator untuk dinaikkan tegangannya sebelum ditransmisikan melalui Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTT) 500 kV.

PLTU Tanjung Jati B Unit 1-2 menggunakan generator transformer dari *manufacture* Toshiba dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Rated power : 786 MVA at 65 °C winding temperature

- Phase : 3
- Voltage : 22,8/525 kV
- Vector Groups : YNd11
- Cooling : ODAF
- Tap Changer : NO-LOAD, $\pm 5 \%$, 5 steps

6. Kondensasi Uap

Uap yang telah digunakan untuk memutar turbin dan melewati sisi terakhir turbin (*last blade turbine*) akan mengalami penurunan tekanan dan suhu. Uap tekanan rendah ini kemudian dialirkan ke kondensor untuk didinginkan dan dikondensasi kembali ke dalam fasa cair jenuh. Air hasil kondensasi ini kemudian dipompa kembali ke boiler oleh *Condensate Extraction Pump (CEP)*, sehingga membentuk siklus tertutup. Pendingin kondensor menggunakan media air laut yang dialirkan oleh 2 x 50% *Circulating Water Pump (CWP)* dengan kapasitas masing-masing 925 m³/menit. Air dari laut mengalir menuju reservoir melalui *intake head* dan *intake pipe* sepanjang kurang lebih 630 m. Dari reservoir, air laut dipompa oleh CWP melewati *bar screen* sebagai penyaring kasar dan *Travelling Band Screen (TBS)* system sebagai penyaring lanjut di sisi hisap /*suction* CWP dengan harapan air yang dipompa menuju kondensor sudah dalam keadaan bersih dari sampah sehingga proses perpindahan panas di dalam kondensor dapat berlangsung optimal serta mencegah terjadinya penyumbatan pada tube kondensor.

PLTU Tanjung Jati B Unit 1-2 menggunakan kondensor dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Condenser vacuum : 0,0832 bar abs
- Inlet C.W. temperature : 29,2 °C
- Output C.W. temperature : 36,2 °C
- Circulating water flow : 1.780 m³/menit
- Type circulating water : Sea water
- Number of tubes : 34.074
- Tube surface area : 27,523 m²

7. Pembuangan Gas Buang

Gas panas hasil pembakaran batu bara di boiler akan dihisap oleh Induced Draft Fan (ID Fan) melewati laluan *backpass boiler* dan *air pre-heater system (APH)*, di dalam laluan *backpas* terjadi perpindahan panas secara konveksi dari gas panas ke tube-tube boiler (*wall boiler; superheater dan economizer*) serta perpindahan panas dari gas panas ke udara pembakaran melalui lempeng-lempeng plat air pre-heater. Dari APH sistem, gas buang dilepaskan ke atmosfer melalui cerobong asap (*chimney*) setelah melewati beberapa tahap penyaringan dan pengendalian emisi seperti *Electrostatic Precipitator (ESP)* dan *Flue Gas Desulfurization (FGD)* untuk mengurangi polutan.

8. Penangkap Abu Hasil Pembakaran

Electrostatic Precipitator (ESP) berfungsi untuk menangkap abu halus (*fly ash*) yang terbawa dalam gas buang menggunakan prinsip electrostatic dengan efisiensi 99,3%, dimana *fly ash* yang tidak bermuatan (netral) akan mengalami proses elektrolisis pada saat melewati *discharge electrode* sehingga bermuatan negatif dan selanjutnya ditangkap oleh *collecting plate* yang bermuatan positif, berikutnya *fly ash* yang tertangkap akan dirontokkan oleh *rapping system* dan secara gravitasi akan terjatuh menuju *hopper* sisi bawah ESP untuk kemudian dialirkan menuju *fly ash silo* dengan bantuan udara bertekanan yang dihasilkan oleh kompresor.

Abu kasar (*bottom ash*) hasil pembakaran boiler secara gravitasi akan jatuh menuju *Submerged Chain Conveyor (SSCC)* system dengan kapasitas 18.000 kg/jam untuk didinginkan dan selanjutnya dibawa menuju ke penampungan sementara menggunakan mekanisme rantai dan *scraper*.

9. Penangkap Sulfur dalam Gas Buang

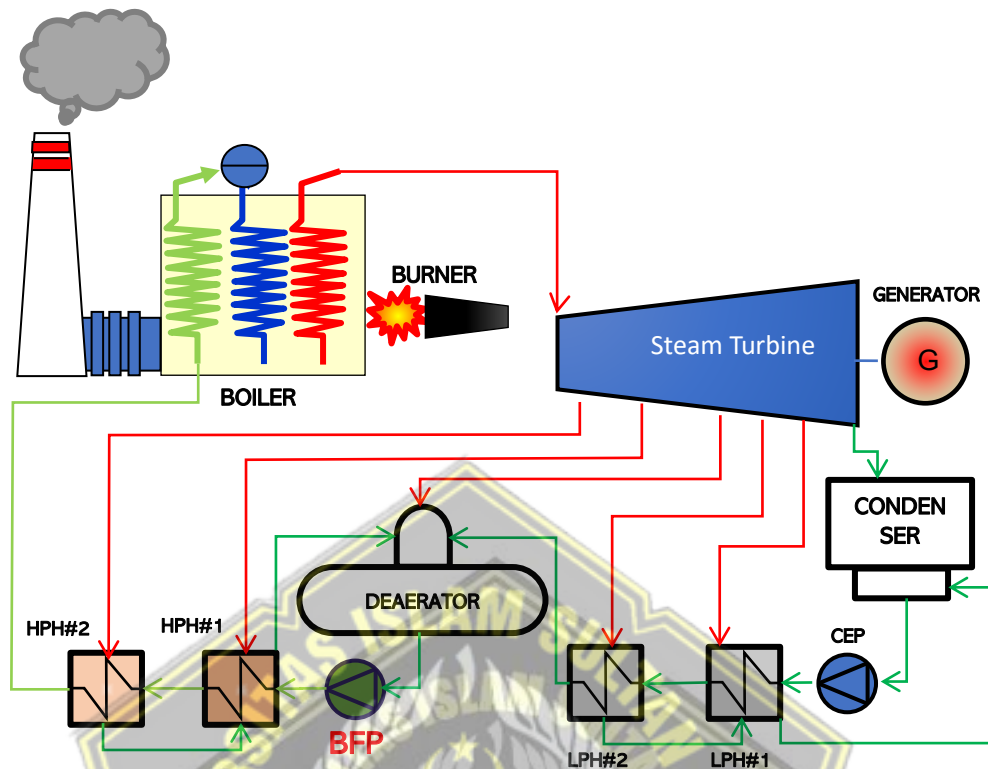
Flue Gas Desulphurization (FGD) berfungsi untuk menangkap sulfur yang terkandung dalam gas buang sehingga tidak terbawa keluar menuju atmosfer. Sistem FGD PLTU Tanjung Jati B Unit 1-2 didesain untuk menurunkan emisi

sulfur dioxide sebesar 516,24 kg/jam setiap unit untuk semua spesifikasi bahan bakar dengan kandungan sulfur 1% ('The Babcock & Wilcox Company', 1996). Prinsip kerja dari FGD adalah dengan mempertemukan gas buang yang mengandung sulfur dengan *limestone slurry* di dalam *absorber tank* sehingga bereaksi menghasilkan *gypsum*. Pada saat unit beroperasi, gas buang pembakaran yang dihisap oleh ID Fan selanjutnya didorong melewati laluan gas buang menuju *absorber tank*, di dalam absorber tank gas buang mengalir ke atas melewati *plate perforated tray* agar terdistribusi merata di dalam luasan tanki. Penghilangan *sulfur dioxide* terjadi pada saat pertemuan antara gas buang dengan *spray limestone slurry* dalam arah yang saling berlawanan, dari pertemuan tersebut terjadi reaksi yang mengubah *sulfur dioxide* menjadi *calcium sulfite hydrate* ($\text{CaSO}_3 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$) dan *calcium sulfate* ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ('The Babcock & Wilcox Company', 1996).

2.2.2. Siklus Air dan Uap dalam PLTU

Secara umum dalam siklus air dan uap PLTU berlangsung secara tertutup, berdasarkan tekanan kerjanya dapat dibagi menjadi 3 sistem:

1. Sistem air kondensat yaitu dimulai dari hot well condenser air kondensat dipompa menggunakan *Condensate Pump* melewati *Gland Steam Condenser*, *Low Pressure Heater* (LPH) #1, LPH #2, LPH #3 menuju ke *Deaerator*.
2. Sistem air pengisi yaitu dimulai dari *Deaerator* air pengisi dipompa menggunakan *Boiler Feed Pump* (BFP) menuju *Boiler Drum* dengan melalui *High Pressure Heater* (HPH) #5, HPH #6, HPH #7, dan *Economizer*.
3. Sistem Uap Superheat yaitu dimulai dari Boiler, uap superheat mengalir untuk memutar Turbin. Setelah digunakan untuk memutar turbin hingga tekanan dan temperaturnya turun selanjutnya uap mengalir keluar dari *exhaust Turbine* menuju *Condensor* untuk didinginkan hingga berubah fasa menjadi cair jenuh dan ditampung dalam *hotwell* untuk selanjutnya disirkulasikan kembali sebagai air pengisi *boiler*.



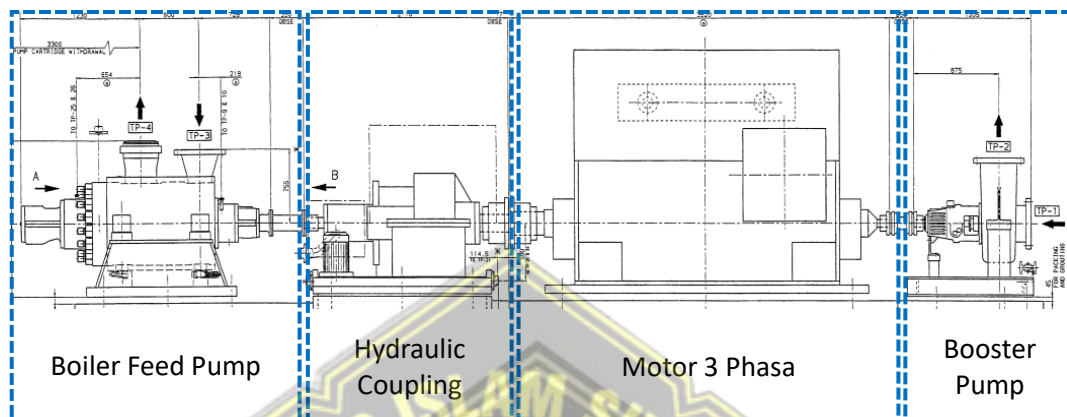
Gambar 2. 2. Siklus air dan uap PLTU

2.2.3. Boiler Feed Pump (BFP)

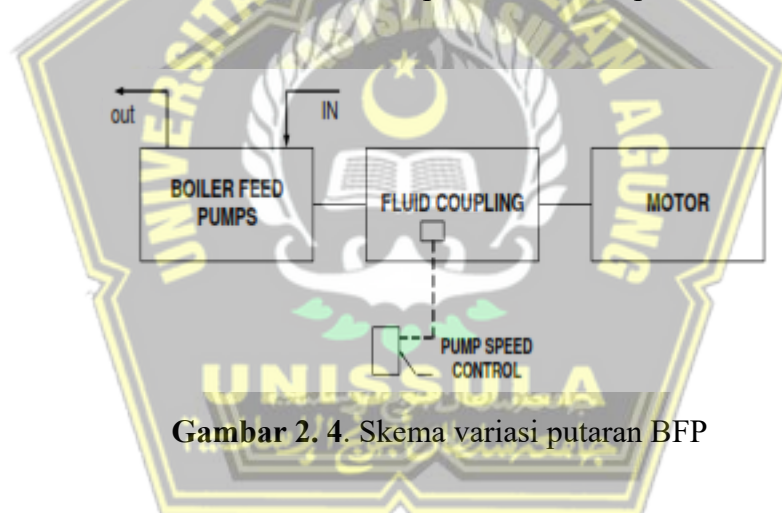
Boiler Feed Pump adalah salah satu peralatan dalam sistem air pengisi boiler yang berfungsi untuk memompa sekaligus menaikkan tekanan air dari deaerator menuju boiler drum dengan melewati HPH #5, HPH #6, HPH #7, economizer. Hampir sebagian besar *Boiler Feed Pump* menggunakan pompa jenis sentrifugal bertingkat dengan penggerak mula berupa turbin uap atau motor listrik.

BFP pada PLTU Tanjung Jati B Unit 1-2 merupakan pompa sentrifugal bertingkat yang terdiri atas beberapa equipment utama meliputi *Booster Pump*, *hydraulic coupling*, motor penggerak dan pompa utama. Peralatan-peralatan tersebut dipasang pada lantai pertama turbine house dalam sumbu yang sama. Pompa utama (BFP) memiliki kapasitas alir $1.374 \text{ m}^3/\text{jam}$ dan Head $2.173,4 \text{ mAq}$, sedangkan pompa booster (BFPBP) merupakan sebuah pompa single stage dengan kapasitas $1.374 \text{ m}^3/\text{jam}$ pada putaran 1500 rpm , sisi tekan (*discharge*) dari *booster pump* terhubung dengan sisi hisap (*suction*) pompa utama. Motor induksi digunakan sebagai penggerak utama yang diletakkan diantara pompa utama (*Boiler Feed*

Pump dan pompa Booster (*Boiler Feed Pump Booster Pump*). Hydraulic coupling unit akan mengatur putaran pompa utama sedangkan putaran motor adalah tetap. Susunan peralatan utama pada BFP PLTU Tanjung Jati B Unit 1-2 sesuai Gambar 2.2.



Gambar 2. 3. Susunan peralatan utama pada BFP



Gambar 2. 4. Skema variasi putaran BFP

Parameter-parameter yang mempengaruhi kinerja motor penggerak diantaranya adalah arus (Ampere), tegangan (Volt) temperature bearing ($^{\circ}\text{C}$), temperature winding ($^{\circ}\text{C}$), vibrasi motor (mm/s) dan lain-lain. Evaluasi atas parameter-parameter operasional tersebut yang biasanya dijadikan sebagai referensi tindak lanjut beberapa alternatif solusi perbaikan yang paling optimum untuk dilakukan.



Gambar 2. 5. BFP PLTU Tanjung Jati B

2.2.4. Menentukan Beban Motor

Hasil pembacaan alat ukur secara langsung dapat digunakan untuk memperkirakan beban motor (MC COY and DOUGLASS, 2000). Nilai yang terbaca dari alat ukur dimasukkan dalam perhitungan input power motor menggunakan persamaan berikut:

$$P_i = \frac{V \times I \times pf \times \sqrt{3}}{1000} \dots \dots \dots (2.1)$$

dengan,

P_i : Daya 3 fasa (kW)

V : RMS tegangan 3 fasa (V)

I : RMS arus 3 fasa (A)

pf : power factor (%)

Sedangkan daya yang dibutuhkan untuk motor beroperasi pada rating kapasitasnya dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$P_{ir} = \frac{kW}{\eta_n} \dots \dots \dots (2.2)$$

dengan,

P_{ir} : Daya masukan (input power) pada beban maksimum (kW)

kW: keluaran daya sesuai nameplate (kW)

η_n : Efisiensi pada beban maksimum (%)

Beban motor merupakan rasio atau perbandingan antara daya input motor (P_i) dengan daya yang dibutuhkan motor pada rating kapasitasnya (P_{ir}):

$$\text{Load} = \frac{P_i}{P_{ir}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.3)$$

Efisiensi merupakan rasio atau perbandingan antara beban motor terhadap daya input motor:

$$\eta_n = \frac{kW \times \text{Load}}{P_i} \dots\dots\dots(2.4)$$

2.2.5. Analisa Tingkat Kekritisan Peralatan

PLTU Tanjung Jati B menggunakan metode *Equipment Criticality Analysis* (ECA) dalam menentukan tingkat keritisan dari suatu peralatan. ECA disusun berdasarkan matrix (5 x 5) atas tingkat kemungkinan dan tingkat dampak dari kegagalan suatu peralatan.

Tabel 2. 1. Matrix 5 x 5 ECA

TINGKAT KEMUNGKINAN	E	Sangat Besar	C2	C2	C1	C1	C1
	D	Besar	C3	C2	C1	C1	C1
	C	Sedang	C3	C2	C1	C1	C1
	B	Kecil	C3	C3	C2	C1	C1
	A	Sangat Kecil	C3	C3	C2	C1	C1
			Tidak Signifikan	Minor	Medium	Signifikan	Sangat Signifikan
			1	2	3	4	5
			SKALA DAMPAK				

- Tingkat kemungkinan (*probability*) terdiri atas 5 level: level sangat kecil hingga sangat besar. Tingkat dampak terdiri atas 5 level: level tidak signifikan sampai dengan sangat signifikan yang dipilih dari salah satu parameter yang dianggap paling dominan dan memiliki tingkat dampak yang paling tinggi, meliputi dampak finansial, safety dan environment.

Tabel 2. 2. Tingkat kemungkinan

	Kuantifikasi	Rating	Descriptor
TINGKAT KEMUNGKINAN	1 kali kegagalan dalam 6 bulan atau kurang	E	Sangat Besar
	1 kali kegagalan dalam 6 bulan sampai 1 tahun	D	Besar
	1 kali kegagalan dalam 1 tahun sampai 2,5 tahun	C	Sedang
	1 kali kegagalan dalam 2,5 tahun sampai 5 tahun	B	Kecil
	1 kali kegagalan dalam 5 tahun atau lebih	A	Sangat Kecil

Tabel 2. 3. Skala dampak

Descriptor	Tidak Signifikan	Minor	Medium	Signifikan	Malapetaka
Rating	1	2	3	4	5
FINANSIAL	< Rp. 500 Juta	Rp. 500 Juta - Rp. 1 M	> Rp. 1 Miliar - Rp. 3 Miliar	> Rp. 3 Miliar - Rp. 5 Miliar	> Rp. 5 M
SAFETY	Tidak ada Cidera yang mengakibatkan orang (pegawai / pihak ketiga) yang hanya memerlukan perawatan sama sekali	Cidera yang mengakibatkan orang (pegawai/pihak ketiga) memerlukan rawat jalan	Cidera yang mengakibatkan (pegawai/pihak ketiga) , perlu rawat inap di rumah sakit dan memerlukan tindakan medis yang serius tetapi tidak mengakibatkan cacat tetap.	Cidera yang mengakibatkan satu orang (pegawai/pihak ketiga) cacat tetap	Mengakibatkan adanya orang (pegawai/pihak ketiga) meninggal dunia
REGULATORY / ENVIRONMENT	Environmental Compliance Non-Essential (tidak berdampak) punya pengendalian punya prosedur, tidak ada keluhan dari pegawai/pihak ketiga	Environmental Compliance Secondary (Minor: ISO 14000) Berdampak tetapi hanya didalam kawasan sendiri dan belum melanggar aturan, punya pengendalian punya prosedur, ada keluhan dari pegawai/pihak ketiga, lamanya dampak lebih kecil satu minggu	Environmental Compliance Important (Non Conformity: ISO 14000) Berdampak hanya didalam kawasan sendiri dan sudah melanggar aturan lamanya kurang dari satu bulan, punya pengendalian tetapi tidak punya prosedur, ada keluhan dari pegawai/pihak ketiga.	Environmental Compliance Essential (wajib lapor ke pemerintah) berdampak keluar kawasan, sudah melanggar aturan lamanya kurang dari satu bulan dan punya pengendalian tetapi tidak punya prosedur, ada keluhan dari pegawai/pihak ketiga dan masyarakat sekitar	Environmental Compliance Critical (berdampak hukuman / denda dari pemerintah) berdampak keluar kawasan, sudah melanggar aturan lamanya lebih dari satu bulan dan tidak punya pengendalian tidak punya prosedur, ada keluhan dari pegawai/pihak ketiga dan demo dari
SKALA DAMPAK					

Berdasarkan Tabel 2.2. dan Tabel 2.3. di atas, selanjutnya masing-masing equipment akan dikelompokkan menjadi kategori C1, C2, dan C3.

Parameter terakhir yang diperhitungkan dalam penentuan level ECA adalah faktor *redundancy equipment* di dalam masing-masing sistemnya sesuai Tabel 2.4. meliputi:

Tabel 2. 4. Redudancy level

Redundancy Level	Description	Remarks	Example
1	No Redundancy	The entire Main Function is required to avoid any loss of function.	1 X 100% 2 X 50%
2	1 Redundant	One parallel unit can suffer a fault without influencing the function.	3 X 50% 6 X 20% 2 X 100%
3	More than 1 redundant	Two or more parallel units can suffer a fault at the same time without influencing the function.	3 X 100%

Hasil kalkulasi atas 3 parameter tersebut selanjutnya dikelompokkan menjadi 9:

- C.1.1, C.1.2, C.1.3
- C.2.1, C.2.2, C.2.3
- C.3.1, C.3.2, C.3.3

Kriteria C.1.1 memiliki tingkat kekritisian yang paling tinggi sehingga menjadi prioritas untuk dipersiapkan dan dijaga ketersediaan equipment/material cadangan penggantinya dalam usaha menjaga keandalan PLTU.

2.2.6. Manajemen Energi

Manajemen energi adalah semua hal tentang pengurangan biaya atas pemakaian energi dari sebuah organisasi, untuk kondisi saat ini pengurangan biaya tersebut disertai juga dengan upaya tambahan untuk meminimalkan emisi karbon. Pengurangan biaya energi memiliki dua aspek meliputi harga dan kuantitas (Vesma, 2009).

Pendekatan manajemen energi meliputi beberapa hal, diantaranya:

1. Menurunkan permintaan atau kebutuhan melalui langkah-langkah *self-denial, enforcement, regulasi, economic measures*.
2. Metode alternatif yang dilakukan yaitu melalui langkah perbaikan proses maupun pemakaian peralatan dengan efisiensi yang tinggi.
3. Penggantian bentuk energi menggunakan jenis energi yang berbeda maupun penggunaan energi -baru terbarukan.

Salah satu program atau kegiatan yang seringkali dilakukan pada unit operasional PLTU dalam menerapkan manajemen energi adalah dengan melakukan

langkah perbaikan proses maupun melakukan penggantian atau peremajaan peralatan dengan efisiensi yang lebih tinggi, salah satunya adalah pada motor-motor penggerak peralatan.

Strategi optimasi pemakaian motor sebagai penggerak utama suatu equipment yang telah beroperasi dalam beberapa siklus pemeliharaan besar (overhaul) pada umumnya dilakukan dengan beberapa cara:

1. Refurbish/retrofit berupa overhaul motor dengan main workscope diantaranya : pull out rotor shaft, revarnish winding insulation, pengecekan dan atau penggantian wedges yang rusak, penggantian bearing DE-NDE, cleaning rotor & stator winding, serta pengetest-an standar yang lain.
2. Rewinding, berupa penggantian lilitan/winding stator motor. Proses rewinding biasanya dilakukan di workshop dalam negeri, tetapi tidak menutup kemungkinan juga untuk dilakukan di workshop OEM motornya. Efisiensi rewinding motor biasanya akan mengalami penurunan sebesar 0,5% - 2% dibanding kondisi motor baru (MC COY and DOUGLASS, 2000).
3. Penggantian motor, penggantian motor baru dapat dilakukan dengan motor dengan spesifikasi dan brand sama dengan motor eksisting maupun menggunakan motor baru dari brand yang berbeda dengan spesifikasi setara. Beberapa hal yang perlu diperhatikan ketika melakukan penggantian motor dari brand berbeda diantaranya sebagai berikut:
 - Ukuran frame
 - Sistem pendinginan
 - Tipe bearing maupun model pelumasannya

hal ini untuk menghindari perlunya dilakukan modifikasi yang cukup ekstrim, selain biaya yang dibutuhkan relatif besar juga harus mengalokasikan waktu pemasangan yang lebih lama. Modifikasi yang harus dilakukan biasanya berkonsekuensi akan mengubah beberapa kondisi, misalnya terminal kabel, pipa pelumas dan lain-lain, kondisi ini mengakibatkan pola pemeliharaan rutin dengan strategi rotating asset dan plug and play akan lebih sulit untuk dilakukan.

Penurunan efisiensi adalah sesuatu yang tidak dapat dihindari atau diperkirakan sebagai konsekuensi dari sebuah repair atau rewinding. Berdasarkan studi kasus

dari rewinding motor memperlihatkan penurunan efisiensi yang dikaitkan dengan *specific shortcuts, error*, atau penggantian komponen (Schueler and Douglass, 1996).

Beberapa alasan dari sebuah kemungkinan terjadinya penurunan efisiensi setelah dilakukan repair motor adalah kerusakan laminasi saat striping motor dan kerusakan inti besi karena mengalami temperature tinggi selama gangguan (Dr Jayamaha, 2018).

Faktor-faktor yang mempengaruhi Kelayakan Ekonomi dalam Penggunaan Motor Efisiensi Tinggi (Dr Jayamaha, 2018) sesuai tabel 2.5.

Tabel 2. 5. Faktor-faktor yang mempengaruhi kelayakan ekonomi dalam penggunaan motor efisiensi tinggi

No	Faktor	Pengaruh pada kelayakan ekonomi
1	Efisiensi motor eksisting	Semakin tinggi efisiensi motor eksisting, semakin tinggi penghematan energi
2	Jam operasi motor	Semakin tinggi jam operasi motor, semakin tinggi penghematan energi
3	Beban motor	Jika beban motor eksisting terlalu rendah akan menghasilkan efisiensi motor yang tidak bagus. Perbaikan kapasitas motor baru akan menghasilkan efisiensi yang lebih baik dan penghematan energi yang semakin tinggi.
4	Tarif listrik	Semakin tinggi tarif listrik, semakin tinggi penghematan.
5	Umur motor eksisting	Semakin tua umur motor eksisting, justifikasi untuk penggantian motor semakin kuat karena faktor umur sisa (remaining) motor yang pendek dan terjadinya penurunan efisiensi karena aging.
6	Harga motor baru dengan efisiensi tinggi	Semakin rendah harga motor baru yang efisien, semakin cepat waktu pengembalian investasi.
7	Insentif biaya	Jika ada insentif biaya (diskon) untuk pembelian motor baru hal ini akan menghasilkan waktu pengembalian investasi yang semakin baik.
8	Penurunan efisiensi karena perbaikan	Ketika motor mengalami gangguan dan harus dilakukan perbaikan, penurunan efisiensi dan biaya repair harus dipertimbangkan. Semakin tinggi biaya repair dan semakin tinggi penurunan efisiensi, semakin kuat alasan dan

		justifikasi untuk penggantian motor baru yang lebih efisien.
--	--	--

2.2.7. Manajemen Risiko

Risiko menurut SNI ISO 31000 adalah efek dari ketidakpastian terhadap sasaran atau target. Ketidakpastian adalah kurangnya informasi mengenai suatu peristiwa (*event*), seberapa besar tingkat kemungkinan terjadinya (*likelihood*), dan berapa besar dampaknya (*effect*) pada sasaran.

Dampak adalah terjadinya penyimpangan dari sasaran yang diharapkan. Penyimpangan ini dapat negatif ataupun positif atau keduanya. Jika dampaknya negatif bagi sasaran disebut dengan risiko (*risk*), sedangkan jika dampaknya positif bagi sasaran disebut dengan peluang (*opportunity*).



Gambar 2. 6. Hubungan antara ketidakpastian, peluang, risiko dan sasaran
Sumber: QRMO 2019

Sumber risiko adalah suatu unsur yang secara sendiri atau secara bersama-sama dengan unsur lain mempunyai potensi untuk menimbulkan risiko. Sumber risiko berasal dari internal dan eksternal.

Sumber risiko internal meliputi:

- Material: data, informasi
- Moneter: dana, anggaran
- Manusia: kuantitas, keahlian, manajerial
- Mesin: sarana dan prasarana
- Metode: sistem, teknik, prosedur

Sumber risiko eksternal meliputi:

- Ekonomi: kenaikan suku bunga, inflasi, kurs
- Sosial & Politik: demonstrasi, perubahan regulasi, lingkungan
- Hukum: preseden, tuntutan hukum
- Teknologi: obsolete
- Media
- Stakeholders: pelanggan, penyedia
- Peristiwa alam: banjir, gempa bumi, badai, pandemi

Manajemen risiko adalah proses terstruktur untuk mengelola risiko yang dihadapi dalam mencapai sasaran, berupa proses sistematis dan berkelanjutan untuk mengidentifikasi dan mengukur tingkat risiko, serta menentukan tindakan terbaik dalam mengurangi kemungkinan terjadinya risiko, memperkecil dampak yang ditimbulkannya (atau kedua-duanya), maupun langkah lainnya guna menciptakan keyakinan bahwa sasaran perusahaan dapat dicapai.

Sebelum mengidentifikasi risiko terlebih dahulu ditentukan kriteria kemungkinan dan dampak yang akan digunakan sebagai parameter dalam analisa risiko. Kriteria dalam analisis risiko meliputi:

1. Kerangka selera risiko
2. Kriteria kemungkinan (*likelihood*) sesuai Tabel 2.6.
3. Kriteria dampak (*impact*) sesuai Tabel 2.7.

Tabel 2. 6. Kriteria tingkat kemungkinan

Tingkat Kemungkinan	Probabilitas	Deskripsi Kualitatif
Sangat Besar	> 80% - 100%	Hampir dapat dipastikan akan terjadi
Besar	> 60% - 80%	Kemungkinan besar akan terjadi
Sedang	> 40% - 60%	Kemungkinan sama antara akan terjadi dan tidak terjadi
Kecil	> 20% - 40%	Kemungkinan kecil akan terjadi
Sangat Kecil	0% - 20%	Hampir dapat dipastikan tidak akan terjadi

Tabel 2. 7. Kriteria tingkat dampak

No	Tidak Signifikan	Minor	Medium	Signifikan	Sangat Signifikan
1	PROSES BISNIS INTERNAL: K-3 / Critical Asset / Keselamatan Aset				
	Kerusakan <i>critical asset</i> hanya membutuhkan perbaikan minor	Kerusakan <i>critical asset</i> membutuhkan perbaikan hingga 1 hari	Kerusakan <i>critical asset</i> membutuhkan perbaikan hingga 1 bulan	Kerusakan <i>critical asset</i> membutuhkan perbaikan 1-6 bulan	Kerusakan <i>critical asset</i> membutuhkan perbaikan > 6 bulan, atau penggantian
	Kerusakan aset ringan.	Kerusakan aset ringan.	Kerusakan aset sedang,	Aset rusak berat (perlu perbaikan).	Aset rusak berat (tidak dapat digunakan lagi).
2	KEUANGAN & PASAR: Opportunity Profit/Loss (dalam persen)				
	<0,1% dari pendapatan Perusahaan satu tahun	0,1% - 0,5% dari pendapatan Perusahaan satu tahun	0,5% - 1% dari pendapatan Perusahaan satu tahun	1% - 2% dari pendapatan Perusahaan satu tahun	>2% dari pendapatan Perusahaan satu tahun

Tujuan perlakuan risiko adalah untuk mengelola risiko tinggi dan ekstrem ke tingkat yang dapat diterima. Perlakuan risiko direncanakan dan dilaksanakan oleh pemilik risiko. Jika rencana perlakuan yang lebih efektif tidak memungkinkan untuk dilakukan, maka pemilik risiko memiliki pilihan untuk menghindari risiko dengan melakukan perubahan atau tidak melakukan aktivitas yang menimbulkan risiko tersebut (Afgani, no date).

Jika telah dilakukan perlakuan, namun belum mencapai tingkat risiko yang diharapkan, maka perlu dilakukan *review* terhadap analisis risiko maupun penanganannya. Namun demikian pada prinsipnya pemilik risiko dapat tetap mempertimbangkan untuk menerima risiko tersebut, jika dinilai terdapat potensi peluang yang lebih besar. Secara umum penanganan risiko terdiri atas:

- Risk Exploit, mengambil atau meningkatkan risiko untuk mengejar kesempatan
- Menghindari risiko, memutuskan untuk tidak memulai atau melanjutkan kegiatan yang menimbulkan risiko
- Risk Retain, mempertahankan risiko dengan keputusan yang didasarkan pada informasi yang dianggap cukup
- Mitigasi, mengubah dampak risiko atau mengubah kemungkinan kejadian atau menghilangkan sumber risiko

- Risk *Sharing*, membagi risiko dengan pihak lain (misalnya melalui kontrak, membeli asuransi, *outsourcing*)

Mitigasi risiko adalah merupakan salah satu bentuk penanganan risiko berupa tindakan sistematis dan terukur, baik *volume*, waktu, sasaran hasil, biaya maupun penanggungjawabnya.

Kelayakan suatu rencana mitigasi risiko, diantaranya dapat diukur dengan besaran *benefit*, yaitu perbandingan antara biaya mitigasi terhadap besaran dampaknya. Biaya yang dikeluarkan dalam rangka pengelolaan suatu risiko tidak boleh lebih besar daripada nilai dampak risiko itu sendiri.

2.2.8. Capital Budgeting

Dalam merencanakan sebuah investasi aktiva tetap perlu dilakukan pertimbangan yang matang dengan melakukan perhitungan dan analisa yang sesuai agar tepat sasaran. Keputusan untuk menentukan kelayakan investasi aktiva tetap terutama yang membutuhkan dana cukup besar dengan jangka waktu yang panjang disebut dengan *capital budgeting*. Beberapa definisi *capital budgeting* menurut para ahli:

- i. *Capital budgeting* merupakan proses menyeluruh akan perencanaan serta pengeluaran dana dengan horizon waktu lebih dari 1 tahun (Riyanto, 1988).
- ii. *Capital budgeting* merupakan proses secara keseluruhan yang meliputi pengumpulan, evaluasi, seleksi hingga penentuan alternatif atas penanaman modal yang menguntungkan perusahaan dengan horizon waktu lebih dari setahun (Syamsuddin, 2009).

Tujuan dilakukan *capital budgeting* diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Memperkirakan kemungkinan untung rugi dari dana yang dikeluarkan dalam jangka waktu yang lama.
2. Menghitung dengan cermat kebutuhan dana perusahaan. Jika dana berlebih akan mengakibatkan beban tetap tambahan, dan sebaliknya jika dana kurang maka akan mengganggu proses produksi.
3. *Capital budgeting* erat hubungannya dengan pengadaan asset tetap dan pengeluaran dana lain dalam waktu yang lama.

Metode atau teknik perhitungan dalam *capital budgeting* diantaranya: *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR), *Average Rate of Return* (ARR), *Payback Period* (PP), dan *Benefit Cost Ratio* (B/C rasio) (Syamsuddin, 2009).

2.2.9. Kelayakan Investasi

Investasi adalah sejumlah dana yang digunakan pada saat ini dengan mengharapkan sebuah keuntungan di masa yang akan datang (Abdul Halim and Untung, 2005). Investasi merupakan suatu tindakan mengeluarkan sejumlah dana pada saat ini untuk membeli sesuatu yang berharga di masa depan seperti aktiva riil maupun aktiva keuangan (Haming, Murdifin, SE, Salim and Basalamah, SE, 2003). Investasi merupakan menanamkan sejumlah dana dengan penuh komitmen pada saat ini untuk meraih keuntungan maksimal dimasa depan (Tandelilin, 2001). Ada beberapa alasan sebuah perusahaan dalam melakukan kegiatan investasi, diantaranya:

1. Investasi dengan motif untuk perluasan usaha (*expansion*).
2. Investasi dengan motif penggantian (*replacement*).
3. Investasi dengan motif untuk memperluas usaha baru (*renewable*).

Kelayakan sebuah proyek adalah suatu ilmu untuk menilai sebuah pekerjaan yang akan dilakukan di masa mendatang (Suratman, 2001). Tujuan dari analisa kelayakan diantaranya adalah untuk meminimalisir potensi kerugian, kemudahan dalam sebuah perencanaan, pelaksanaan serta pengawasan dan pengendaliannya (Kasmir, 2006).

2.2.10. Cash Flow

Jenis *cash flow* dalam *Time Value of Money* terbagi menjadi 3 (Gitman and Zutter, 2015), yaitu:

1. Annuities

Aliran arus kas yang sama nilainya dalam setiap periode waktu.

2. Mixed Stream

Aliran arus kas yang berbeda nilainya dalam setiap periode waktu.

3. *Perpetuity*

Aliran arus kas yang sama nilainya terus menerus tanpa batasan waktu.

2.2.11. Payback Period

Payback Period (PP) digunakan dalam menghitung jangka waktu yang dibutuhkan untuk mendapatkan kembali modal yang telah ditanamkan dalam investasi dari sejumlah arus kas yang masuk tahunan maupun yang merupakan nilai sisa (Pujawan, 2019). Metode PP mengabaikan konsep *Time Value of Money*, sehingga *cash flow* tidak dikaitkan dengan *discount rate* tertentu.

Jika arus kas masuk kontinyu setiap tahun (*annuity cash flow*), maka PP dihitung dengan cara membagi jumlah investasi yang digunakan terhadap aliran kas yang masuk setiap tahunnya.

Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$PP = \frac{CF_0}{CF_t} \dots\dots\dots(2.5)$$

dengan,

CF_0 = *Cash flow di tahun ke-0 (Initial Investment)*

CF_t = *Cash flow dalam setiap tahun*

Proyek dengan *payback period* yang lebih singkat dianggap lebih menguntungkan. Secara umum PP hanya digunakan sebagai opsi tambahan dan tidak bisa dijadikan patokan utama dalam analisis kelayakan investasi (Nurfitriani and Suryawati, 2017).

2.2.12. Net Present Value (NPV)

Secara umum dapat dikatakan bahwa uang memiliki nilai waktu, artinya bahwa nilai uang sangat dipengaruhi oleh waktu atau kapan uang tersebut dinilai. Setiap individual atau bahkan korporasi akan lebih menyukai uang pada saat ini daripada nanti meskipun jumlah nominalnya adalah sama, hal ini berarti untuk uang dengan nominal yang sama akan lebih dipilih untuk diterima pada saat ini daripada nanti,

atau sebaliknya bagi sebagian besar individu akan lebih memilih untuk melakukan pembayaran nanti daripada sekarang untuk nominal yang sama.

Net Present Value (NPV) adalah prediksi arus kas di masa mendatang dan telah didiskonkan saat ini (Ekayana Etc, 2021). Perhitungan NPV membutuhkan data inputan berupa biaya investasi, biaya operasi dan pemeliharaan atas pekerjaan yang direncanakan, tingkat pengembalian atau bunga.

NPV mengandalkan pada arus kas yang didiskontokan, merupakan selisih antara jumlah penerimaan di masa mendatang setelah dinilai pada masa sekarang (menggunakan *discount rate*) terhadap nilai pengeluaran investasi yang dilakukan pada masa sekarang. Tahapan perhitungan dilakukan sebagai berikut:

1. Menentukan nilai sekarang (*present value*) dari setiap arus kas baik kas masuk maupun kas keluar yang dikurangkan dengan biaya awal investasi.
2. Menjumlahkan seluruh aliran kas yang telah didiskontokan. Hasil penjumlahan ini didefinisikan sebagai NPV.
3. Jika hasil perhitungan bernilai positif maka investasi yang di akan dilakukan dinyatakan layak karena akan menghasilkan sejumlah keuntungan.

Jika arus kas masuk kontinyu setiap tahun (*annuity cash flow*), maka:

$$NPV = PV - CF_0 \dots\dots\dots(2.6)$$

$$PV = CF \times (PVIFA_{r,n})$$

$$PVIFA_{r,n} = \frac{1 - \frac{1}{(1+r)^n}}{r}$$

dengan:

CF_0 : cash flow tahun ke-0 (*initial cost* atau *biaya investasi*)

CF : cash flow tahun ke-1 dan seterusnya

$PVIFA$: *Present Value Interest Factor Annuity*

r : *rate return*

n : *tahun ke-n investasi*

PV juga dapat dihitung menggunakan formula dalam excel: $PV(RATE,NPER,-PMT)$.

dengan:

RATE : rate return

NPER : tahun ke-*n* investasi

PMT : cash flow tahun ke-1 dan seterusnya

Output dari metode NPV adalah berupa kriteria keputusan sebagai berikut:

NPV > 0, Pekerjaan dinilai layak dan dapat dilanjutkan

NPV < 0, Pekerjaan tidak layak

NPV = 0, Pekerjaan bisa dilanjutkan atau tidak

2.2.13. Internal Rate of Return (IRR)

IRR adalah salah satu metode yang dapat digunakan dalam analisa kelayakan sebuah investasi dengan cara menghitung tingkat pengembalian (*discount*) atau bunga yang akan menyamakan *present value cash flow* dengan nilai investasi awal (*initial investment*) yang dikeluarkan atau *cost of capital*. Dalam menghitung IRR dilakukan secara trial and error hingga diperoleh tingkat pengembalian yang menghasilkan NPV sama dengan nol (Zainuri, 2021).

Jika arus kas masuk kontinyu setiap tahun (*annuity cash flow*), maka:

$$CF_0 = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1 + IRR)^t}$$
$$CF_0 = CF \times (PVIFA_{IRR\%,n}) \dots\dots\dots(2.7)$$

Jika arus kas masuk berbeda nilainya setiap tahun (*mixed stream cash flow*), maka untuk mencari IRR dilakukan dengan cara interpolasi dengan tahapan sebagai berikut:

1. Memasukkan nilai *r* yang cukup rendah sehingga menghasilkan NPV positif.
2. Memasukkan nilai *r* yang cukup tinggi sehingga menghasilkan NPV negatif.
3. Melakukan interpolasi linear berikut

$$IRR = r_1 + \left\{ \left(\frac{NPV_1}{NPV_1 - NPV_2} \right) \times (r_2 - r_1) \right\}$$

dengan,

*r*₁ = tingkat pengembalian yang menghasilkan NPV positif

r_2 = tingkat pengembalian yang menghasilkan NPV negatif

NPV_1 = NPV bernilai positif

NPV_2 = NPV bernilai negatif

IRR adalah tingkat pengembalian suatu investasi pada saat $NPV = 0$, atau IRR adalah tingkat suku bunga yang akan menjadikan jumlah nilai saat ini (present) dari proses bisnis yang diharapkan akan diterima sama dengan jumlah nilai saat ini dari pengeluaran investasi yang dilakukan. Jika IRR yang diperoleh lebih besar dari Tingkat bunga yang diterapkan atau biaya modal (*cost of capital*) yang diasumsikan, maka investasi dianggap layak dan menguntungkan (Zainuri, 2021).

2.2.14. Analisa Sensitifitas

Analisa sensitifitas merupakan suatu pengujian atas sebuah keputusan investasi untuk melihat seberapa besar potensi ketidaksesuaian penggunaan suatu asumsi yang masih dapat ditoleransi tanpa membatalkan keputusan yang telah diambil tersebut (*Analisis Sensitifitas*, no date). Hal ini berguna untuk melihat apa yang akan terjadi dengan hasil analisa sebuah investasi, jika ada sesuatu ketidaksesuaian atau perubahan dalam dasar perhitungan biaya atau benefit. Analisa sebuah investasi biasanya didasarkan pada proyeksi-proyeksi yang mengandung banyak ketidakpastian tentang apa yang akan terjadi di waktu yang akan datang, sehingga perlu dilakukan analisa sensitifitas atas keputusan investasi yang telah diambil.

Ada 3 hal utama yang perlu mendapatkan perhatian, meliputi:

1. Adanya kemungkinan terjadi "*cost overrun*", misalnya kenaikan biaya atau harga barang.
2. Adanya perubahan perbandingan harga terhadap tingkat harga umum, misalnya penurunan harga jual dari produk yang dihasilkan.
3. Mundurnya realisasi pelaksanaan sebuah investasi dari jadwal yang direncanakan semula.

Analisa sensitivitas dilakukan dengan cara mengubah nilai dari suatu parameter pada suatu waktu untuk selanjutnya dilihat bagaimana pengaruhnya terhadap akseptabilitas suatu alternatif investasi (Pujawan, 2019). Beberapa faktor yang

biasanya berubah dan pada akhirnya bisa mempengaruhi keputusan diantaranya adalah biaya investasi, arus kas masuk dan keluar tahunan, nilai sisa, tingkat bunga, tingkat pajak, dan umur investasi.



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian

Metode dan pendekatan penelitian yang tepat perlu disusun untuk mendapatkan hasil penelitian yang terstruktur dan akurat atau pendekatan yang dipilih dalam menjawab permasalahan penelitian untuk mencapai tujuan dan tahapan penelitian. Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif untuk mengevaluasi kelayakan investasi penggantian motor *Boiler Feed Pump* (BFP) di PLTU Tanjung Jati B Unit 1-2. Pendekatan ini memungkinkan peneliti untuk mengukur dan menganalisis data numerik yang relevan dengan investasi, serta memberikan gambaran yang jelas mengenai kelayakan proyek berdasarkan metode *capital budgeting*.

Penelitian ini terbagi dalam 4 tahap, meliputi:

1. Tahap persiapan
Terdiri atas perumusan masalah, penetapan tujuan, studi literatur dan studi lapangan.
2. Tahap pengumpulan data
Data-data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi data-data sekunder maupun data-data primer.

Data primer adalah data yang diperoleh secara langsung dari objek penelitian, data ini diperoleh dengan cara penulis mengambil data langsung di lapangan dan mengambil data yang terekam dalam aplikasi TOPi, wawancara dengan pihak manajemen dan teknisi di PLTU Tanjung Jati B Unit 1-2, serta pengumpulan data operasional dan keuangan terkait motor BFP yang akan diganti.

Data sekunder merupakan data yang diperoleh penulis secara tidak langsung, data diperoleh melalui dokumen-dokumen atau melalui orang lain. Data-data yang dikumpulkan terdiri atas data umum perusahaan, data riwayat gangguan motor BFP, data riwayat perbaikan/retrofit motor BFP, data perkiraan masing-masing biaya alternatif perbaikan atau pengadaan motor BFP. Data

sekunder diperoleh dari laporan keuangan perusahaan, dokumen teknis, literatur ilmiah, jurnal, buku, dan sumber-sumber lainnya yang relevan dengan topik penelitian. Data ini mencakup informasi mengenai biaya investasi, proyeksi penghematan energi dan biaya operasional, serta tarif listrik.

3. Tahap analisa dan pengolahan data

Analisa difokuskan pada pemilihan alternatif atas perbaikan atau penggantian motor BFP dari sisi kelayakan investasi.

Pada tahap awal, ditentukan beberapa opsi perbaikan yang kemungkinan bisa dilakukan, selanjutnya dilakukan kajian secara teknis dan diteruskan analisa risiko atas opsi-opsi yang ada. Opsi yang secara teknis dan risiko dianggap layak serta memenuhi selera risiko kemudian dilakukan perhitungan lanjutan dari sisi operasional. Data primer yang diperoleh diantaranya dari laporan pengujian di manufaktur (*Factory Acceptance Test*) berupa data load characteristic motor dan juga aplikasi TOPI meliputi data jam operasi unit PLTU, beban unit pembangkit, arus motor BFP dan lain-lain. Data yang telah dikumpulkan selanjutnya diolah sehingga diperoleh asumsi data-data berikut:

- Jam operasi unit PLTU dalam setiap tahun
- Arus dan efisiensi motor baru.
- Arus dan efisiensi motor eksisting.
- Arus dan efisiensi motor rewinding.

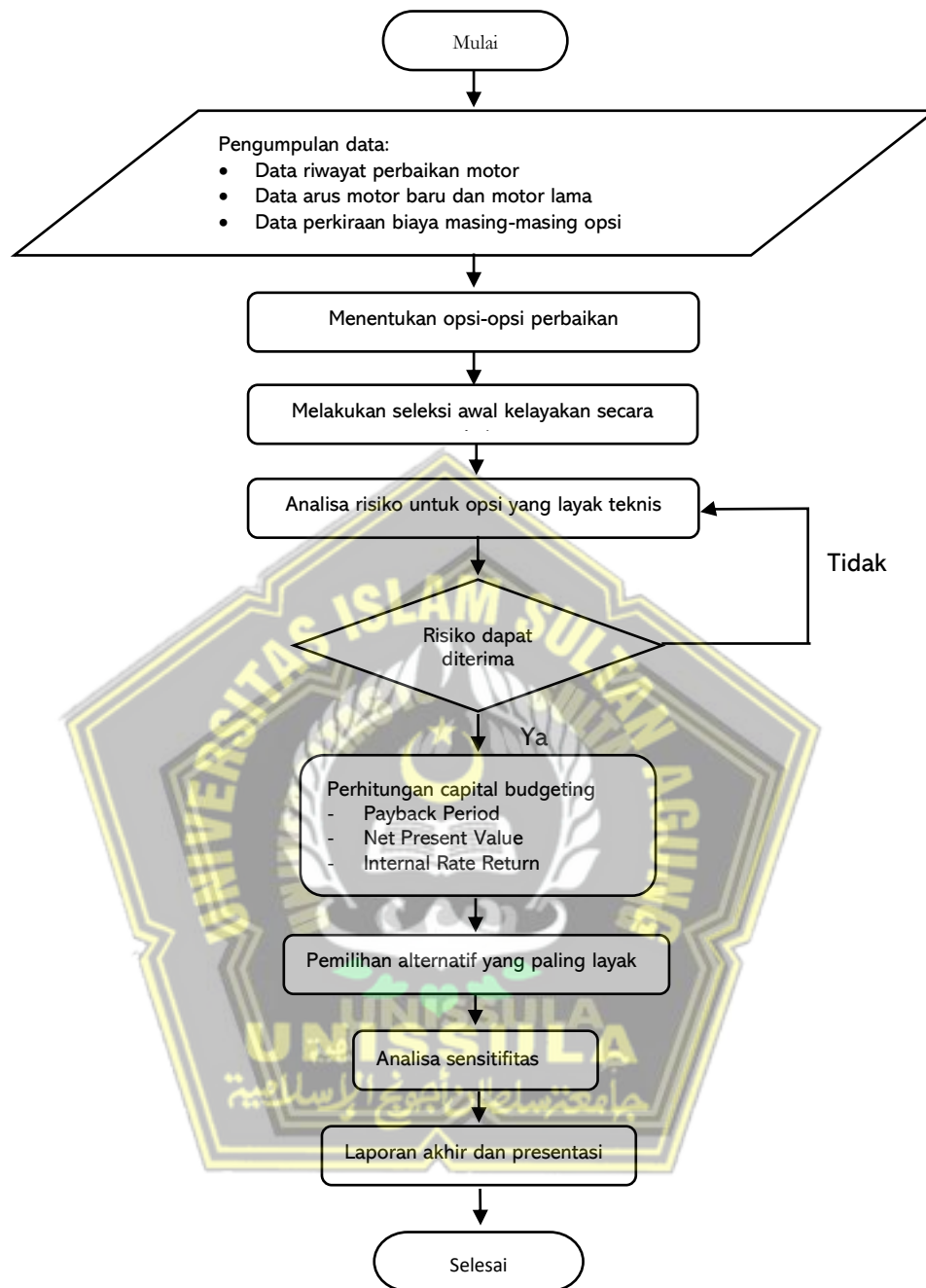
4. Penelitian ini menggunakan beberapa metode analisis penganggaran modal/capital budgeting menggunakan perhitungan *Payback Period* (PP), *Net Present Value* (NPV), perhitungan *Internal Rate of Return* (IRR), dan dilanjutkan dengan Analisa Sensitifitas sabagai mitigasi risiko atas perubahan-perubahan yang terjadi selama umur proyek atas asumsi yang digunakan. Seberapa sensitif perubahan NPV dapat diukur menggunakan Analisa sensitifitas dengan tujuan membantu memberikan opsi alternatif dalam penerimaan batas-batas keuangan dari rencana penggantian motor BFP di PLTU Tanjung Jati B Unit 1-2. Variabel sensitif yang digunakan dalam Analisa sensitifitas meliputi variable harga perolehan, revenue dan tingkat bunga.

5. Tahap pembahasan dan interpretasi hasil
 - a. Membandingkan hasil analisis dengan literatur dan penelitian sebelumnya.
 - b. Menginterpretasikan hasil analisis dan menarik kesimpulan
6. Penyusunan Laporan

Menyusun laporan penelitian yang mencakup latar belakang, metodologi, hasil, pembahasan, kesimpulan, dan saran

Diagram alir penelitian ini dapat dilihat dalam Gambar 3.1.





Gambar 3. 1. Diagram alir penelitian

3.2. Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperangkat laptop dengan spesifikasi umum sebagai berikut:

Processor : Intel(R) Core (TM) i7-10710U CPU @ 1.10GHz 1.61 GHz

Installed RAM : 16,0 GB (15,8 GB usable)

System type : 64-bit operating system, x64-based processor
 Edition : Windows 10 Pro, version 22H2

Bahan-bahan yang digunakan adalah data-data desain motor yang dikumpulkan dari *name plate* maupun *manual book*, data parameter operasi motor, riwayat gangguan, riwayat pemeliharaan besar (overhaul).

1. Kapasitas Motor

Berdasarkan desain yang tertuang dalam manual book, kapasitas motor BFP dikalkulasikan sebagai berikut:

Efisiensi (η) Boiler Feed Booster Pump (BFPB) : 87,14 %

Efisiensi (η) Boiler Feed Pump (BFPB) : 84,49 %

$$\text{Shaft power (kW)} = \frac{16,3 \times \gamma \times Q \times H}{\eta}$$

γ : Specific gravitasi = 0,893 (kg/l)

Q : Kapasitas pompa (m³/min)

H : Total Head (mAq)

$$\text{Shaft power BFPB} = \frac{16,3 \times 0,893 \times 22,9 \times 104,4}{87,14} = 399 \text{ kW}$$

$$\text{Shaft power BFP} = \frac{16,3 \times 0,893 \times 22,9 \times 2173,4}{84,49} = 8575 \text{ kW}$$

Hydraulic coupling loss : 545 kW

Total daya pompa : 399 + 8575 + 545 = 9519 kW

Efisiensi motor : 95,8 %

$$\text{Motor input power} : \frac{9458}{0,958} = 9936 \text{ kW}$$

Sehingga dipilih motor dengan kapasitas 10.000 kW

2. Spesifikasi Motor BFP

Berdasarkan manual book dan name plate motor, spesifikasi detail motor BFP adalah sesuai Tabel 3.1.

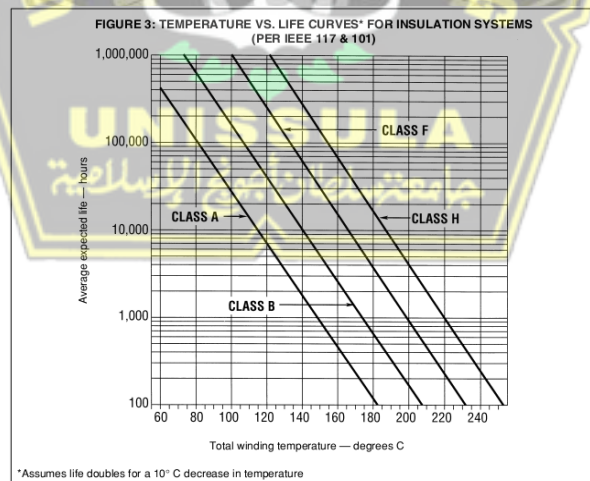
Tabel 3. 1. Data spesifikasi motor BFP PLTU Tanjung Jati B Unit 1-2

Rated output	10.000 kW
Type	ICR-CHCN
Rated voltage	10 kV

Rated current	663 A
Rated frequency	50Hz
Rated power factor	0.9
Protection	IP44
Cooling method	IC81W
Poles	4
Frame No.	630-2240
Class Insulation	155 °C (F class)
Temperature rise	B class
Rating	S1
Maximum ambient temperature	40 °C
Standard	IEC 60034-1
Manufacture	TMEIC-Japan

3. Kurva Pengaruh Temperatur Lilitan terhadap Umur Motor

Berdasarkan data riwayat operasi motor BFP yang ada selanjutnya akan dibandingkan terhadap kurva umur lilitan sesuai Gambar 3.2. untuk dapat diperhitungkan dan diketahui prediksi usia motor ke depan. Riwayat hasil pemeliharaan besar yang telah dilakukan, meliputi performance motor setelah dilakukan overhaul beserta biaya yang dikeluarkan juga digunakan sebagai referensi pembeding.



Gambar 3. 2. Gambar Kurva Temperatur terhadap Umur Motor berdasarkan IEEE 117 & 101

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Deskripsi Objek Penelitian

PLTU Tanjung Jati B terletak di pesisir utara Pulau Jawa di titik yang dikenal sebagai Semenanjung Muria. Total luas PLTU ini adalah 150 hektar di Desa Tubanan, Kecamatan Kembang, sekitar 83 km di timur laut Kota Semarang, dan 25 km di utara Kota Jepara, Jawa Tengah. PLTU Tanjung Jati B terdiri atas 4 unit dengan skema *Operation & Maintenance (O&M)* dilakukan oleh 2 perusahaan besar, meliputi PT TJBPS di unit 1-2 dan PT KPJB di unit 3-4.

PT TJBPS selaku pelaksana O&M di unit 1-2 memiliki visi dan misi sebagai berikut:

Visi: Menjadi operator terbaik di Indonesia.

Untuk mengukur kinerja sehubungan dengan visi, berikut ini adalah kriteria-kriteria yang telah ditetapkan:

- Keselamatan tinggi
- Ketersediaan tinggi
- Kepuasan pelanggan
- Memaksimalkan keuntungan pembangkit secara keseluruhan dengan tetap menjaga pembangkit dalam kondisi baik.

Misi: Menciptakan keuntungan jangka panjang

Keuntungan jangka panjang akan dicapai dengan mengoptimalkan kegiatan O&M pembangkit dan dengan melakukan perbaikan berkelanjutan.

Nilai-nilai yang ditanamkan di PT TJBPS meliputi:

- Keunggulan dalam Tindakan (*excellence in action*)
- Perbaikan berkelanjutan (*continuous improvement*)
- Ber-etika tinggi (*high ethics*)
- Bekerja sama (*cooperation*)

PLTU Tanjung Jati B Unit 1-2 adalah salah satu pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) di Indonesia yang beroperasi untuk memenuhi kebutuhan listrik nasional di sistem Interkoneksi Jawa Madura dan Bali. Pembangkit ini menggunakan sub

critical Boiler sebagai penghasil uap pemutar turbin. Salah satu equipment penting dalam siklus tertutup sebuah PLTU adalah *Boiler Feed Pump* (BFP) yang berfungsi untuk menaikkan tekanan air pengisi boiler sehingga air dari deaerator dapat dialirkan menuju ke steam drum yang letaknya paling tinggi dari sebuah boiler. Motor BFP yang digunakan saat ini telah menunjukkan tanda-tanda penurunan kinerja diantaranya temperature lilitan cukup tinggi sehingga harus dioperasikan tidak dalam kondisi maksimal untuk menjaga temperature lilitan tetap dalam batasannya, konsekuensi atas kondisi operasi ini adalah pengoperasian motor tandemnya yang lebih tinggi. Jika dipaksakan untuk beroperasi pada temperature nominal yang tinggi akan berpotensi motor trip atau dalam jangka waktu lama akan menurunkan umur lilitan. Pemeliharaan periodic yang sudah biasa dilakukan yaitu overhaul dimana salah satu lingkup pekerjaan utama yang dilakukan meliputi *dismantle* dan *cleaning*, pengukuran, *revarnish winding*, pengecekan *wedges*, dan lain-lain. Dari hasil pemeliharaan periodic yang sudah dilakukan, pada kenyataannya belum menunjukkan perbaikan kinerja motor yang significant sehingga diperlukan upaya perbaikan lanjut berupa penggantian lilitan / *rewinding* maupun penggantian motor baru untuk memastikan kelancaran operasional dan efisiensi PLTU dalam memproduksi energi listrik.

Berdasarkan ECA, BFP di PLTU Unit 1 dan 2 meskipun memiliki redundant, tetapi secara potensi dampak jika misal terjadi gangguan akan menyebabkan kerugian yang cukup besar akibat kehilangan atau berkurangnya kesempatan berproduksi, selain hal tersebut durasi pengadaan/levering yang relatif panjang (lebih dari 1 tahun) juga turut berkontribusi dalam meningkatkan level kekritisannya (C.1.2).

4.2. Pemilihan Alternatif

Berdasarkan hasil wawancara dengan tim pemeliharaan elektrik dan pengumpulan data-data lain termasuk referensi biaya yang dibutuhkan, terdapat beberapa alternatif yang bisa menjadi opsi dengan kelebihan dan kekurangan masing-masing, diantaranya:

1. *Refurbishment* motor, kegiatan ini berupa pemeliharaan besar (overhaul) dengan lingkup pekerjaan: *Pull out rotor, cleaning winding, re-varnish winding insulation, testing dan measurement winding*. Biaya yang dibutuhkan untuk pekerjaan ini sekitar 500 juta (berdasarkan nilai estimasi pekerjaan sebelumnya).
2. *Rewinding* di workshop dalam negeri, kegiatan ini berupa overhaul total dan penggantian lilitan/rewinding stator menggunakan coils baru non-OEM. Biaya yang dibutuhkan untuk pekerjaan ini sekitar 4 miliar (berdasarkan nilai estimasi pekerjaan sebelumnya).
3. *Rewinding* di workshop manufacture motor / *Original Equipment Manufacturer* (OEM), pekerjaan ini berupa penggantian lilitan menggunakan metode *Vacuum Pressured Impregnated* (VPI) di workshop OEM. Biaya yang dibutuhkan untuk pekerjaan ini sekitar 8,08 miliar.
4. Pengadaan motor baru dari OEM dengan upgrade sistem pendinginan, atau motor baru Non-OEM dengan spesifikasi yang sesuai. Biaya yang dibutuhkan untuk pekerjaan ini sekitar 10,6 miliar.

Kelebihan dan kekurangan dari beberapa opsi tersebut di atas terangkum dalam Tabel 4.1.

Tabel 4. 1. Pros dan cons masing-masing opsi

No	Opsi	Pros/Kelebihan	Cons/Kekurangan
1	Refurbish	- Durasi pengiriman 3 bulan - Biaya paling murah sekitar 500 juta	- Performa motor hanya meningkat sedikit - Temperature winding tetap relative tinggi dikisaran 130 C - Kemungkinan motor trip karena overheat paling tinggi
2	Rewinding lokal dengan perubahan class insulation dari F ke H	- Durasi pengiriman 3 bulan - Biaya pekerjaan sekitar 4 M	- Kualitas motor di bawah rewinding di OEM. - Spesifikasi lilitan motor maksimal sampai 140 C.
3	Rewinding di OEM	- Kualitas motor lebih baik dibanding rewinding lokal. - Biaya pekerjaan sekitar 8,08 M	- Durasi pengiriman 8,5 bulan - Kualitas motor (efisiensi) < motor baru

4	Motor Baru OEM	- Kualitas paling baik dibanding 3 opsi yang lain - Lifetime paling Panjang > 10 tahun	- Durasi pengiriman paling lama dibanding 3 opsi yang lain, sekitar 1 tahun - Biaya pekerjaan paling tinggi dibanding 3 opsi yang lain, sekitar 10,6 M
5	Motor Baru Non-OEM	- Kualitas kurang lebih setara dengan opsi 4 - Lifetime setara dengan opsi 4 - Size motor paling besar dibanding 4 opsi yang lain	- Durasi pengiriman setara dengan opsi 4 - Biaya pekerjaan setara dengan opsi 4

Opsi pertama merupakan kegiatan rutin yang dilakukan sebagai pemeliharaan periodik tahunan yang dilakukan pada saat periode *Planned Outage*. Lingkup utama pemeliharaan ini meliputi: cleaning, measuring, re-varnish, re-balancing, re-greasing, repair dan lain-lain. Mempertimbangkan durasi waktu yang terbatas, strategi yang digunakan dalam pola pemeliharaan saat ini dengan menggunakan metode *Roll In Roll Out* (RIRO) untuk beberapa rotating Aset, termasuk juga untuk motor-motor besar salah satunya adalah motor BFP. Motor BFP cadangan dipersiapkan terlebih dahulu di warehouse setelah proses pemeliharaan sehingga pada saat periode outage bisa langsung dipasang, dan motor yang dibongkar bisa dilakukan pemeliharaan untuk dipasang pada kesempatan outage berikutnya sesuai jadwal. Evaluasi atas strategi ini sudah berjalan dengan baik, tetapi karena kondisi lifetime motor yang sudah mengalami penuaan (*aging*) sehingga pemeliharaan rutin yang dilakukan sudah tidak cukup lagi untuk menaikkan performa dari motor-motor BFP yang ada.

Opsi ke-2 merupakan rekomendasi hasil dari kegiatan *Failure Mode Equipment Analysis* (FMEA) dan *Root Cause Failure Analysis* (RCFA) untuk rencana jangka pendek yaitu melakukan *rewinding* motor dengan meningkatkan class coil belitan dari class F menjadi class H untuk tujuan memperpanjang usia motor, secara teori dari estimasi 60.000 jam (8 tahun) menjadi 200.000 jam (22 tahun). Kegiatan ini sudah pernah dilakukan di tahun 2016 tetapi dari hasil evaluasi yang dilakukan, kondisi temperature belitan tetap mencapai 140 °C yang menjadi akar permasalahan

kegagalan motor BFP, tingginya temperature belitan harus diselesaikan dengan menurunkan temperature belitan ke dalam kondisi ideal untuk menjaga temperature dalam kondisi aman beroperasi.

Opsi pertama dan ke-2 berdasarkan pengalaman masih memiliki risiko *true downtime* yang tinggi dimana secara *indirect cost*, risiko finansial kehilangan kesempatan berproduksi (*lost production*) jika misal terjadi gangguan pada motor BFP yang mengakibatkan unit harus derating hingga 50%, untuk setiap kWh adalah sekitar Rp.950,- atau setara dengan 313.500.000 untuk kejadian setiap jam.

Opsi ke-3 berupa rewinding motor ke workshop manufaktur OEM adalah salah satu opsi yang dapat dipilih dimana alternatif ini diperkirakan lebih baik dibanding dua alternatif sebelumnya, tetapi kegiatan ini juga belum pernah dilakukan sebelumnya sehingga belum ada history di internal yang dapat digunakan sebagai acuan.

Opsi ke-4 dan ke-5 berupa penggantian motor baru. Berdasarkan Tabel 2.1, terdapat beberapa pertimbangan yang memperkuat justifikasi untuk penggantian motor baru, sesuai item no. 5 dan no. 8:

- Umur motor eksisting. Semakin tua umur motor eksisting, justifikasi untuk penggantian motor semakin kuat karena faktor umur sisa/remaining motor yang pendek dan terjadinya penurunan efisiensi karena aging.
- Penurunan efisiensi karena perbaikan. Ketika motor mengalami gangguan dan harus dilakukan perbaikan, penurunan efisiensi dan biaya repair harus dipertimbangkan. Semakin tinggi biaya repair dan semakin tinggi penurunan efisiensi, semakin kuat alasan dan justifikasi untuk penggantian motor baru yang lebih efisien.

Berdasarkan hasil komunikasi, diskusi dan koresponsi yang berhasil dilakukan oleh tim pemeliharaan elektrik dengan pabrikan motor besar, diperoleh 2 potensi pilihan motor baru sebagai berikut:

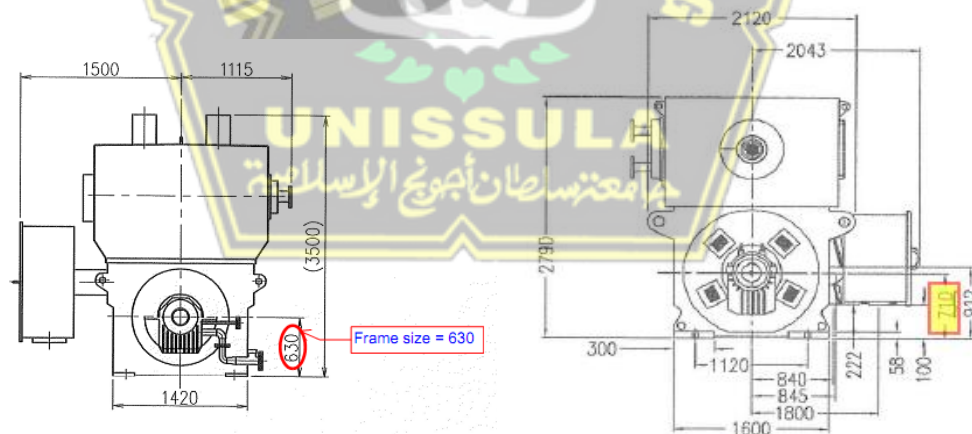
1. Motor sesuai eksisting (OEM), dengan spesifikasi umum yang sama tetapi dilakukan improvement pada beberapa bagian. Pihak *manufacture* OEM motor memberikan rekomendasi untuk menggunakan belitan class B temperature rise

dan class F untuk *Insulation* nya yang secara umum digunakan di dunia. Selain hal tersebut pihak *manufacture* juga merekomendasikan untuk menggunakan size frame yang sama dengan kondisi saat ini (630) dilengkapi dengan tambahan fan pendingin pada sistem pendingin motornya, serta dengan beberapa pengembangan seperti penggunaan *welded finger plate* dan penggunaan material stainless steel untuk coil ring serta coil ring support terisolasi.

2. Motor non-OEM, dengan spesifikasi dan dimensi lebih besar dibanding motor eksisting.

Tabel 4. 2. Perbandingan spesifikasi motor OEM dan non-OEM

No	Spesifikasi	Motor brand OEM	Motor Non-OEM
1	Frame size	630-2240 (special)	710
2	Rated current	654 A	654,1 A
3	Temperature rise class B	106-108	102
4	Locked rotor current	3165 A	3598 A
5	Locked rotor torque	50%	55%
6	Pull-up torque	50%	55%
7	Berat motor	19 ton	22,3 ton



Gambar 4. 1. Perbedaan tinggi shaft motor OEM dan non-OEM

Berdasarkan kondisi di atas selanjutnya dilakukan analisa secara teknis, sehingga diperoleh point-point penting untuk dikaji lebih lanjut sebagai berikut:

1. Ukuran rangka yang berbeda mengakibatkan dimensi motor yang berbeda. Hal ini berdampak harus dilakukan modifikasi pondasi dasar motor eksisting agar dapat memasang rangka berukuran 710 pada pondasi, jika menggunakan motor

non-OEM sehingga harus dilakukan pemotongan tinggi pondasi saat ini agar ketinggian center shaft menjadi sama dengan motor OEM.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan terkait modifikasi pondasi, diantaranya:

- Masalah getaran yang kemungkinan besar timbul akibat dari pemotongan pondasi dikarenakan berkurangnya redaman dan potensi pemotongan besi pondasi yang terhubung ke sisi booster pump dan sisi main pump (gearbox) akan berdampak pada kondisi soft foot motor yang terpasang saat ini.
 - Pemotongan pondasi akan mempengaruhi kekuatan redaman base motor sehingga ada kemungkinan kelemahan struktural pada motor, selain hal tersebut kondisi motor non-OEM yang lebih berat, akan menjadi salah satu kontribusi terhadap masalah getaran yang dihasilkan.
 - Pemotongan tinggi pondasi motor eksisting secara teknis dapat tetap dilakukan dengan menyediakan base plate tambahan untuk mengakomodasi jika spesifikasi motor OEM yang akan dipasang. Tetapi kondisi ini berpotensi menimbulkan masalah baru di kemudian hari apabila ada kegiatan penggantian motor seperti:
 - Aktivitas penggantian motor menjadi sangat lama karena pada tahap pertama harus memasang pelat dasar tambahan. Penggantian motor dalam jangka waktu yang lama berdampak pada keandalan dan ketersediaan unit PLTU dalam berproduksi.
 - Plat dasar tambahan dengan massa motor 22,3 Ton sangat berpotensi menimbulkan masalah getaran. Jika masalah getaran tidak diatasi maka motor akan mengalami korsleting dan gangguan produksi unit dalam jangka waktu yang lama.
 - Motor non-OEM tidak dapat dipertukarkan dengan motor lama karena dimensinya yang berbeda. Hal ini tidak praktis dan tidak memberikan solusi jika terjadi kerusakan pada motor lama.
2. Dalam hal penghematan energi, pihak manufacture non-OEM menawarkan hal yang sama dengan motor OEM dengan arus terukur 654,1 A.
 3. Manufacture non-OEM menawarkan kenaikan suhu motor lilitan dengan desain khusus $52\text{ K} + 40^{\circ}\text{C (ambient)} + 10^{\circ}\text{C (hotspot)} = 102^{\circ}\text{C}$. Sebagai acuan IEEE

117 & 101 bahwa semakin tinggi kenaikan suhu yang dioperasikan maka akan berdampak pada penurunan umur isolasi lilitan dan jika dapat menurunkan suhu lilitan akan berkontribusi untuk meningkatkan kinerja dan umur motor BFP.

Kajian risiko yang diimplementasikan dalam tema penelitian ini mengadopsi teori 5 M (*Man, Machine, Method, Money, Materials*). Kriteria kemungkinan ditetapkan dengan cara *brainstorming* dengan melibatkan tim pemeliharaan yang memiliki pengetahuan dan pengalaman terkait risiko tersebut, untuk mendiskusikan tingkat kemungkinan dan tingkat dampaknya.

Hasil identifikasi risiko yang dilakukan terhadap 3 opsi yang ada, dimana risiko 1, 2 dan 3 untuk opsi Motor baru Non-OEM, risiko 4 untuk opsi Motor baru OEM dengan improvement, dan risiko 4 & 5 untuk opsi Motor rewinding ke workshop OEM sesuai tabel 4.3.

Tabel 4. 3. Identifikasi Risiko

No	Sumber Risiko	Deskripsi Risiko	Penyebab Risiko	Dampak Risiko
1	Man	Terjadi kesalahan dalam pemasangan motor	- Jumlah SDM terbatas, perlu tambahan SDM setiap kali dilakukan penggantian motor karena pekerjaan yang semakin banyak. - Kompetensi SDM yang terbatas dalam melakukan proses pemasangan motor besar dengan dimensi beragam.	Kerugian atau Opportunity Loss: - Losses kWh akibat unit derating lama karena proses pemasangan motor yang butuh penyesuaian di beberapa sisi, sebesar 237.600 MWh setara Rp231,6 Milyar → SANGAT SIGNIFIKAN - Kerusakan critical asset membutuhkan perbaikan 1-6 bulan → SIGNIFIKAN
2	Machine	Terjadi vibrasi pada motor	- Motor lebih berat dibanding eksisting. - Pondasi harus dipotong untuk menyesuaikan ketinggian motor terhadap pompa.	- Kerusakan critical asset membutuhkan perbaikan 6 - 12 bulan → SANGAT SIGNIFIKAN
3	Method	Skema Rotating Aset tidak optimal	- Spesifikasi dan dimensi motor berbeda dengan eksisting, beberapa pipa saluran pelumas, air dll harus dilakukan penyesuaian. - Tidak plug and play, perlu penyesuaian ulang setiap dilakukan penggantian motor	Kerugian atau Opportunity Loss: - Losses kWh akibat durasi penggantian motor yang cukup lama, sebesar 237.600 MWh setara Rp231,6 Milyar → SANGAT SIGNIFIKAN - Perlu dilakukan pencadangan material yang

			sehingga memerlukan durasi waktu yang lebih panjang.	lebih beragam di warehouse sehingga nilai persediaan meningkat.
4	Machine	Temperatur lilitan tinggi	- Kondisi temperature ambient motor tinggi	Motor trip
5	Machine	Temperatur lilitan tinggi	- Proses dan hasil rewinding tidak baik.	Motor trip
6	Machine	Efisiensi motor turun	- Proses dan hasil rewinding tidak baik.	Pemakaian energi Listrik (kWh) meningkat

Tabel 4. 4. Matrix Risiko

TINGKAT KEMUNGKINAN	E	Sangat Besar	E1	E2	E3	E4	E5
	D	Besar	D1	D2	D3	D4	D5
	C	Sedang	C1	C2	C3	C4	C5
	B	Kecil	B1	B2	B3	B4	B5
	A	Sangat Kecil	A1	A2	A3	A4	A5
			Tidak Signifikan	Minor	Medium	Signifikan	Sangat Signifikan
			1	2	3	4	5
			TINGKAT DAMPAK				

Tabel 4. 5. Perlakuan Risiko

No	Diskripsi & Tingkat Risiko	Risiko Bawaan	Rencana Perlakuan Risiko	Risiko Residu
1	Terjadi kesalahan dalam pemasangan motor	Sangat Signifikan (E4)	- Mengadakan pelatihan dengan pihak manufaktur. - Melakukan kontrak pekerjaan dengan pihak ketiga	Significant (D4)
2	Terjadi vibrasi pada motor	Sangat Signifikan (E5)	- Memastikan kondisi level pondasi tetap rata setelah dilakukan pemotongan. - Memastikan aligment motor dengan pompa sesuai standard.	Sangat Significant (D5)
3	Skema Rotating Aset tidak optimal	Sangat Signifikan (D5)	- Menyediakan plat tambahan pada pondasi untuk motor eksisting. - Menyediakan equipment modifikasi tambahan sesuai kondisi eksisting.	Significant (D4)
4	Temperatur lilitan tinggi	Tinggi (C3)	- Melakukan beberapa improvement pada internal motor. - Penambahan peralatan pendingin tambahan (improvement).	Rendah (A3)

5	Temperatur lilitan tinggi	Tinggi (C3)	- Menugaskan pekerjaan kepada manufaktur yang kompeten dengan metode yang sesuai (VPI)	Rendah (A3)
6	Efisiensi motor turun	Tinggi (D3)	- Menugaskan pekerjaan kepada manufaktur yang kompeten dengan metode dan peralatan yang baik.	Rendah (B3)

Evaluasi Risiko

Berdasarkan analisa yang dilakukan, rencana perlakuan yang lebih efektif untuk risiko 1, 2 dan 3 (opsi penggantian menggunakan motor baru Non-OEM) tidak memungkinkan untuk dilakukan, atau jika tetap dilakukan akan menimbulkan risiko-risiko lanjutan lain yang belum termitigasi, sehingga lebih dipilih untuk menghindari risiko dengan tidak melakukan aktivitas yang menimbulkan risiko tersebut.

Risiko 4, 5, dan 6 (penggantian motor baru sesuai OEM atau rewinding motor eksisting ke workshop manufaktur) secara analisa, risiko dapat diturunkan dari kategori tinggi menjadi kategori rendah.

Mempertimbangkan pada kondisi actual seperti hal-nya kondisi dan dimensi baseplate motor, koneksi perpipaian, skema penggantian motor (roll in roll out) untuk rencana jangka panjang pemeliharaan, opsi yang dipilih harus memenuhi kondisi-kondisi berikut:

- Kapasitas motor sesuai existing yaitu 10 MW dengan pertimbangan jika dilakukan penggantian menggunakan kapasitas yang lebih besar, konsekuensinya harus memperbesar ukuran frame (*bigger power = bigger frame size*).
- Frame size 630 sesuai eksisting, mempertimbangkan ukuran baseplate motor, jalur instalasi dan koneksi perpipaian serta kemudahan strategi penggantian motor nantinya, Roll In Roll Out (RIRO) dimana motor cadangan yang akan dipasang sebagai pengganti langsung dapat dipasang tanpa perlu dilakukan beberapa penyesuaian lagi (*Plug and Play*) sehingga secara waktu dan biaya akan lebih efisien.
- Temperatur rise Class B 85 °C, mempertimbangkan penurunan temperature belitan karena dengan Class B belitan motor akan mencapai temperature 85 °C saat beroperasi.

- Insulation Class F 155 °C, mempertimbangkan penggunaan yang cukup luas oleh pabrikan motor di dunia.
- Penambahan kipas pada sistem pendingin motor untuk memberikan udara bertekanan.
- Support Plat finger harus dilas untuk mencegah finger plate kendur saat rotor berputar yang dapat menyebabkan terjadinya flash over/short circuit.
- Material coil ring menggunakan stainless steel untuk menurunkan temperature coil ring.

Sesuai spesifikasi teknis tersebut di atas, motor BFP diharapkan dapat terjaga temperature belitannya maksimal 125 °C sebagai agregat dari temperature ambient 85 °C dan hotspot 40 °C dibanding dengan temperature motor eksisting sebesar 145 °C (105 °C + 40 °C).

4.3. Asumsi Yang Digunakan Dalam Perhitungan

Berdasarkan kondisi sesuai point 4.2. di atas, dari beberapa alternatif yang tersedia, tinggal menyisakan 2 alternatif yang paling layak untuk dilaksanakan meliputi:

1. Penggantian motor baru menggunakan motor OEM dengan improvement di beberapa bagian yang selanjutnya disebut sebagai alternatif 1.
2. Rewinding motor eksisting menggunakan metode VPI di workshop OEM yang selanjutnya disebut sebagai alternatif 2.

Kedua alternatif yang dipilih selanjutnya dilakukan analisa menggunakan metode *capital budgeting*. Pada tahap awal, ditentukan terlebih dahulu beberapa asumsi sebagai berikut:

1. Performance motor baru (manufacture test), menggunakan data FAT motor baru sebagai salah satu baseline dalam perhitungan.
2. Biaya investasi pengadaan motor baru OEM Rp. 10,52 Miliar dan biaya rewinding motor ke workshop OEM sebesar Rp.8,076 Miliar.
3. Tingkat diskonto ditetapkan sebesar 10%
4. Umur investasi 10 tahun
5. Biaya pokok penyediaan Rp.975/kWh.

6. Jam operasi motor BFP.

Tabel 4. 6. Running hours motor

Tahun	PLTU Unit 1	PLTU Unit 2
2019	8.404	7.744
2020	7.484	8.297
2021	7.925	8.008
2022	7.110	8.626
2023	8.521	7.017
2024	8.169	8.039
Rerata	7.918	7.985

Sumber: diolah dari data TOPi

7. Beban Motor

Arus motor yang digunakan sebagai sampel untuk motor baru adalah motor B di PLTU Unit 1 yang terpasang sejak bulan Desember 2018, sedangkan sampel untuk motor eksisting adalah motor A dan C di PLTU Unit 1 sesuai Tabel 4.7.

Tabel 4. 7. Arus motor baru dan motor eksisting

Tahun	BFP B Motor Current	BFP C Motor Current	BFP A Motor Current
2019	614	637	640
2020	607	614	630
2021	601	635	646
2022	603	-	614
2023	595	-	-
2024	590	616	616
Rerata	602	627	

Sumber: diolah dari data TOPi

Berdasarkan tabel karakteristik beban motor baru dalam pengujian di manufaktur, diperoleh data sesuai Tabel 4.8.

Tabel 4. 8. Load characteristic motor baru

Load (%)	25	50	75	100	125
Line current (A)	198,7	336,3	490,7	658,0	842,8
Efficiency (%)	96,1	97,5	97,7	97,6	97,3
Power factor (%)	75,5	88,0	90,3	89,8	87,9

Slip (%)	0,12	0,23	0,36	0,50	0,66
----------	------	------	------	------	------

Berdasarkan data pada tabel 4.8, pada beban motor 100% (10.000 kW), arus yang mengalir terbaca 658 ampere dengan power factor 89,8 % dan efisiensi yang dicapai sebesar 97,6%.

Perhitungan beban untuk motor baru

Daya masukan (input power) motor dihitung menggunakan persamaan (2.1) dengan arus berdasar data pada tabel 4.7:

$$P_i = \frac{10.000 \times 602 \times 0,9 \times \sqrt{3}}{1.000}$$

$$= 9.384,2 \text{ kW}$$

Daya yang dibutuhkan untuk motor beroperasi pada rating kapasitasnya dihitung menggunakan persamaan (2.2) dengan nilai efisiensi sesuai data pada tabel 4.8:

$$P_{ir} = \frac{kW}{\eta_n}$$

$$= \frac{10.000}{0,976}$$

$$= 10.246 \text{ kW}$$

Beban motor merupakan rasio atau perbandingan antara daya input motor (P_i) dengan daya yang dibutuhkan motor pada rating kapasitasnya (P_{ir}) sesuai dengan persamaan (2.3):

$$\text{Load} = \frac{P_i}{P_{ir}} \times 100\%$$

$$= \frac{9.384,2}{10.246} \times 100\%$$

$$= 91,6 \%$$

Efisiensi motor eksisting (lama)

Daya masukan (input power) motor dihitung menggunakan persamaan (2.1) dengan arus berdasar data pada Tabel 4.7:

$$P_i = \frac{V \times I \times pf \times \sqrt{3}}{1000}$$

$$= \frac{10.000 \times 627 \times 0,9 \times \sqrt{3}}{1.000}$$

$$= 9.774 \text{ kW}$$

Efisiensi motor diperoleh berdasarkan persamaan (2.4):

$$\begin{aligned}\eta_n &= \frac{kW \times Load}{P_i} \\ &= \frac{10.000 \times 91,6\%}{9.774} \\ &= 93,7\%\end{aligned}$$

Dari beban nominal saat ini, berdasarkan arus motor lama (eksisting) 625 Ampere selanjutnya dapat diperkirakan efisiensi motor tersebut sebagai berikut:

$$\begin{aligned}9.113,4 \text{ kW} &= \frac{\sqrt{3} \times 10.000 \times 625 \times \eta \times 90}{10^7} \\ \eta &= \frac{10^7 \times 9.113,4}{\sqrt{3} \times 10.000 \times 625 \times 90} (\%) \\ &= 93,5 \%\end{aligned}$$

Dari beberapa referensi, memaparkan penurunan efisiensi motor rewinding adalah dikisaran 2% untuk motor kapasitas kecil dan 1% untuk motor kapasitas besar. Jika diasumsikan penurunan efisiensi motor rewinding terhadap motor baru adalah 1%, sehingga efisiensi nominal nya adalah $97,6\% - 1\% = 96,6\%$. Nilai ini selanjutnya dikalkulasi sehingga diperoleh arus nominal motor rewinding sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\eta_n &= \frac{kW \times Load}{P_i} \\ 96,6\% &= \frac{10.000 \times 91,59\%}{P_i} \\ P_i &= \frac{10.000 \times 91,59\%}{96,6\%} \\ P_i &= 9.481,4 \text{ kW} \\ P_i &= \frac{V \times I \times pf \times \sqrt{3}}{1000} \\ I &= \frac{P_i \times 1.000}{V \times pf \times \sqrt{3}} \\ &= \frac{9.481,4 \times 1.000}{10.000 \times 0,9 \times \sqrt{3}} \\ &= 608 \text{ A}\end{aligned}$$

Tabel 4. 9. Komparasi motor eksisting, motor baru, motor rewinding

	Motor Eksisting	Alternatif 1	Alternatif 2
Daya motor (kW)	10.000	10.000	10.000
Tegangan (Volt)	10.000	10.000	10.000
Arus (Ampere)	627	602	608
Efisiensi (%)	93,5	97,6	96,6
Power factor (%)	90	90	90
Runing Hours (Jam)	7.950	7.950	7.950
Pemakaian energi pertahun	77.703.004	74.604.798	75.358.381
Harga energi (Rp/kWh)	975	975	975
Biaya energi pertahun (Rp)	75.760.428.433	72.739.677.699	73.474.421.918
Penghematan biaya (Rp)		3.020.750.735	2.286.006.516

Aliran kas (ash flow)

Penghematan biaya atas energi yang digunakan terhadap kondisi eksisting sesuai Tabel 4.9.

Alternatif 1:

$75.760.428.433 - 72.739.677.699 = \text{Rp. } 3.020.750.735,-$ per tahun

Alternatif 2:

$75.760.428.433 - 73.474.421.918 = \text{Rp. } 2.286.006.516,-$ per tahun

Penghematan biaya tersebut selanjutnya diasumsikan sebagai cash flow untuk masing-masing alternatif.

Biaya investasi:

Alternatif 1: Rp.10.519.442.250,-. Nilai ini diperoleh berdasarkan history pengadaan yang tercatat dalam aplikasi Maximo.

Alternatif 2: Rp.8.075.745.500,-. Nilai ini berdasarkan referensi harga yang diperoleh dari representative OEM di tahun 2021 ditambah perkiraan eskalasi harga.

4.4. Perhitungan Capital Budegeting

Berdasarkan beberapa asumsi yang ditetapkan sebelumnya, selanjutnya dilakukan perhitungan dengan metode *capital budgeting* yang meliputi *Payback Period*, *Net Present Value* dan *Internal Rate Return* sebagai berikut:

4.4.1. Payback Period

Alternatif 1, perhitungan Payback Period menggunakan persamaan (2.5):

$$\begin{aligned} PP &= \frac{CF_0}{CF_t} \\ &= \frac{10.519.442.250}{3.020.750.735} \\ &= 3,48 \text{ tahun} \end{aligned}$$

Alternatif 2:

$$\begin{aligned} PP &= \frac{CF_0}{CF_t} \\ &= \frac{8.075.745.500}{2.286.006.516} \\ &= 3,53 \text{ tahun} \end{aligned}$$

Atas kondisi tersebut di atas dapat ditarik kesimpulan bahwasanya secara *payback period*, kedua alternatif investasi ini layak dilaksanakan karena durasi pengembalian investasi lebih kecil dibanding umur investasi, akan tetapi alternatif 1 biasanya lebih dipilih dalam kegiatan investasi karena tingkat pengembalian yang lebih cepat dibanding alternatif 2.

4.4.2. Net Present Value

Alternatif 1, perhitungan Net present value menggunakan persamaan (2.6):

$$NPV = PV - CF_0$$

$$PV = CF \times (PVIFA_{r,n})$$

Dari tabel PVIFA, dengan periode investasi (n): 10 tahun dan tingkat diskonto (r): 10%, diperoleh:

$$PVIFA_{10\%,10} = 6,1446 \text{ sehingga}$$

$$\begin{aligned} PV &= 3.020.750.735 \times 6,1446 \\ &= 18.561.304.966 \end{aligned}$$

$$NPV = 18.561.304.966 - 10.519.442.250$$

$$= 8.041.862.716$$

Alternatif 2:

$$PV = 2.286.006.516 \times 6,1446$$

$$= 14.046.595.637$$

$$NPV = 14.046.595.637 - 8.075.745.500$$

$$= 5.970.850.137$$

Atas kondisi tersebut di atas dapat ditarik kesimpulan bahwasanya secara *Net Present Value*, kedua alternatif investasi ini layak dilaksanakan karena bernilai positif (>0), akan tetapi alternatif 1 lebih layak untuk dipilih dalam kegiatan investasi karena nilai NPV yang lebih besar dibanding alternatif 2.

4.4.3. IRR

Alternatif 1, perhitungan Internal Rate Return menggunakan persamaan (2.7):

$$CF_0 = CF \times (PVIFA_{IRR\%,n})$$

$$10.519.442.250 = 3.020.750.735 \times (PVIFA_{IRR\%,n})$$

$$\frac{10.519.442.250}{3.020.750.735} = PVIFA_{IRR\%,10}$$

$$3,4824 = PVIFA_{IRR\%,10}$$

Berdasarkan table PVIFA, dengan periode 10 tahun dan present value sekitar 3,4824 diperoleh nilai r diantara 24% (3,6819) dan 28% (3,2689), sehingga perlu dilakukan interpolasi linear untuk memperoleh nilai aktualnya.

$$\begin{aligned} IRR &= r_1 + \left\{ \left(\frac{PV - PV_1}{PV_2 - PV_1} \right) \times (r_2 - r_1) \right\} \\ &= 24\% + \left\{ \left(\frac{3,4824 - 3,6819}{3,2689 - 3,6819} \right) \times (28\% - 24\%) \right\} \\ &= 24\% + \left\{ \left(\frac{-0,1995}{-0,413} \right) \times (4\%) \right\} \\ &= 24\% + \{ (0,483) \times (4\%) \} \\ &= 24\% + 1,93\% = 25,93\% \end{aligned}$$

$IRR > \text{Discount Factor (10\%)}$, sehingga investasi layak untuk dijalankan.

Alternatif 2:

$$CF_0 = CF \times (PVIFA_{IRR\%,n})$$

$$8.075.745.500 = 2.286.006.516 \times PVIFA_{IRR\%,10}$$

$$\frac{8.075.745.500}{2.286.006.516} = PVIFA_{IRR\%,10}$$

$$3,5327 = PVIFA_{IRR\%,10}$$

Berdasarkan table PVIFA, dengan periode 10 tahun dan present value sekitar 3,5327 diperoleh nilai r diantara 24% (3,6819) dan 28% (3,2689), sehingga perlu dilakukan interpolasi linear untuk memperoleh nilai aktualnya.

$$\begin{aligned} IRR &= r_1 + \left\{ \left(\frac{PV - PV_1}{PV_2 - PV_1} \right) \times (r_2 - r_1) \right\} \\ &= 24\% + \left\{ \left(\frac{3,5327 - 3,6819}{3,2689 - 3,6819} \right) \times (28\% - 24\%) \right\} \\ &= 24\% + \left\{ \left(\frac{-0,1492}{-0,413} \right) \times (4\%) \right\} \\ &= 24\% + \{ (0,3613) \times (4\%) \} \\ &= 24\% + 1,445\% = 25,445\% \end{aligned}$$

IRR > Discount Factor (10%), sehingga investasi layak untuk dijalankan.

Atas kondisi tersebut di atas dapat ditarik kesimpulan bahwasanya secara IRR, kedua alternatif investasi ini layak dilaksanakan karena lebih tinggi dibanding tingkat bunga atau discount rate yang diasumsikan, akan tetapi alternatif 1 lebih layak untuk dipilih dalam kegiatan investasi karena nilai IRR yang lebih besar dibanding alternatif 2.

Tabel 4. 10. Perbandingan alternatif 1 dan alternatif 2

Kriteria	Alternatif 1	Alternatif 2
Payback Period	3,48 tahun	3,53 tahun
Net Present Value	8.041.862.716	5.970.850.137
Internal Rate Return	25,93%	25,445%

Berdasarkan 3 kriteria penilaian dalam capital budgeting meliputi *Payback Period*, *Net Present value* dan *Internal Rate Return*, diperoleh hasil sesuai Tabel 4.10. bahwasanya untuk alternatif 1 (pengadaan motor baru sesuai OEM) lebih menguntungkan dalam semua kriteria, sehingga dipilih sebagai alternatif terbaik.

Tabel 4. 11. Komparasi akhir masing-masing opsi

Opsi 1	Opsi 2	Opsi 3	Opsi 4	Opsi 5
<i>Refurbishment</i> motor	<i>Rewinding</i> di workshop dalam negeri	<i>Rewinding</i> di workshop OEM	Pengadaan motor baru dari OEM	Pengadaan motor baru dari Non-OEM
<i>Pull out rotor, cleaning winding, re-varnish winding insulation, testing dan measurement winding</i>	Penggantian lilitan/ <i>rewinding</i> stator menggunakan coils baru non-OEM	Penggantian lilitan menggunakan metode <i>Vacuum Pressured Impregnated</i> (VPI) di workshop OEM	Motor sesuai spesifikasi eksisting dengan beberapa improvement	Spesifikasi dan dimensi lebih besar dibanding motor eksisting
Biaya sekitar 500 juta	Biaya sekitar 4 miliar	Biaya sekitar 8,08 miliar	Biaya sekitar 10,6 miliar	Biaya sekitar 10,6 miliar
Kondisi motor sudah mengalami penuaan (<i>aging</i>) sehingga pemeliharaan rutin yang dilakukan sudah tidak cukup lagi untuk menaikkan performa motor BFP yang ada.	- Upgrade class coil F → class H - Memperpanjang usia motor 60.000 jam → 200.000 jam pernah dilakukan tahun 2016, temperature belitan tetap mencapai 140 °C	Diperkirakan lebih baik dibanding dua alternatif sebelumnya, tetapi kegiatan ini juga belum pernah dilakukan sebelumnya di TJB	Size frame sama existing (630) ditambahkan fan pada sistem pendingin motornya, penggunaan <i>welded finger plate</i> dan penggunaan material stainless steel untuk coil ring serta coil ring support terisolasi.	Harus dilakukan modifikasi pondasi dasar motor eksisting agar dapat memasang rangka berukuran 710 pada pondasi
Opsi ini tidak dilanjutkan ke tahap mitigasi risiko karena masih memiliki risiko <i>true downtime</i> yang tinggi yaitu risiko finansial kehilangan kesempatan berproduksi (<i>lost production</i>) jika misal terjadi gangguan pada motor BFP yang mengakibatkan unit harus derating hingga 50%	Opsi ini tidak dilanjutkan ke tahap mitigasi risiko karena masih memiliki risiko <i>true downtime</i> yang tinggi yaitu risiko finansial kehilangan kesempatan berproduksi (<i>lost production</i>) jika misal terjadi gangguan pada motor BFP yang mengakibatkan unit harus derating hingga 50%	Dari analisa yang dilakukan hingga tahap capital budgeting masuk kategori layak tetapi bukan prioritas yang pertama	Dari analisa yang dilakukan hingga tahap capital budgeting masuk kategori layak dengan prioritas tertinggi	3.3. Opsi ini dari hasil kajian risiko, lebih baik tidak dilakukan karena memiliki risiko residu yang masih tinggi setelah ada perlakuan risiko

4.5. Analisa Sensitifitas

Sejak terjadinya pandemi Covid 19 di tahun 2020 dan dilanjutkan dengan kondisi perang di Rusia-Ukraina serta adanya issue perang dagang pada medio 2024, hal ini berdampak juga pada perubahan harga barang atau material yang digunakan dalam industri, tidak terkecuali pada equipment pembangkit, salah satunya adalah motor induksi 3 phase. Selain itu, perubahan suku bunga juga seringkali terjadi yang dipicu oleh kondisi ekonomi dunia dan kebijakan negara - negara maju sebagai pusat perekonomian dunia yang pada akhirnya berpengaruh terhadap nilai *discount factor*. Kondisi lain yang juga dapat terjadi di luar kendali internal adalah *capacity factor* pembangkit yang dipengaruhi dominan oleh kebutuhan sistem, sehingga berpengaruh terhadap *revenue* atau asumsi *cash flow* dari kegiatan investasi yang akan dilakukan. Oleh karena itu perlu dilakukan analisa sensitifitas untuk menguji batas-batas penerimaan dari investasi yang dilakukan terhadap tiga variabel tersebut sebagai variabel eksternal.

Analisis sensitivitas yang dilakukan pada penelitian ini adalah menggunakan metode deterministic dimana hanya satu variabel yang diubah, sedangkan variabel lainnya diasumsikan tidak berubah. Variabel yang diubah pada penelitian ini adalah variabel eksternal dimana variabel ini secara langsung tidak dapat dikontrol. Dari analisis yang dilakukan, terlihat pada nilai berapa perubahan variabel tersebut akan menyebabkan NPV menjadi negatif.

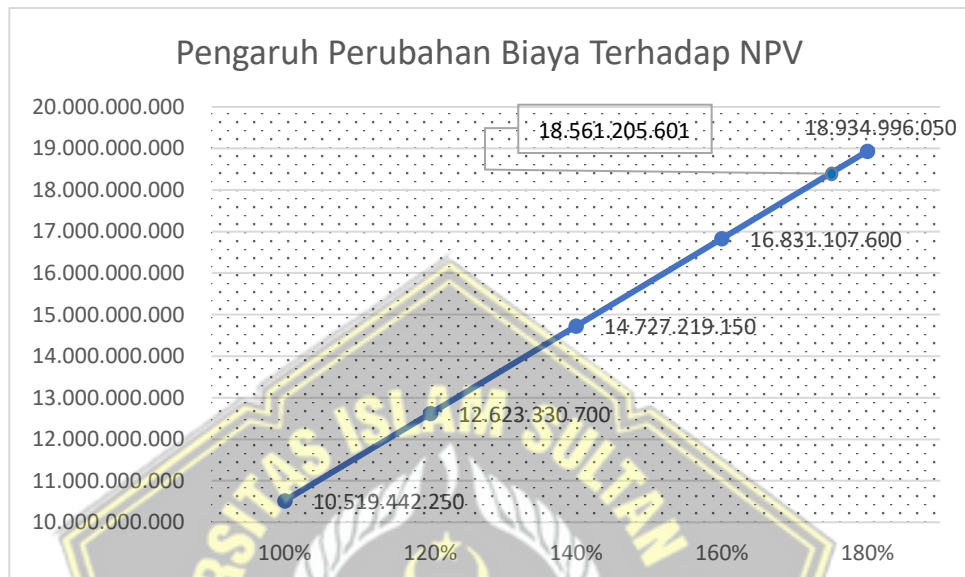
4.5.1. Sensitifitas Terhadap Kenaikan Harga Motor

Perubahan variabel harga pembelian motor baru, sedangkan nilai revenue dan tingkat diskonto diasumsikan tetap sepanjang masa investasi. Pengaruh kenaikan harga pembelian motor baru terhadap NPV ditampilkan dalam Tabel 4.12.

Tabel 4. 12. Sensitifitas atas kenaikan nilai investasi

Sensitivity of Initial Investment					
	100%	120%	140%	160%	180%
PP	4 tahun	5 tahun	5 tahun	6 tahun	7 tahun
NPV	8.041.763.351	5.937.874.901	3.833.986.451	1.730.098.001	- 373.790.449
IRR	25,83%	20,10%	15,77%	12,34%	9,54%

Hasil interpolasi yang dilakukan, didapatkan pada kenaikan harga motor baru hingga menyentuh 176,5% atau setara Rp.18.561.205.601,- akan mengakibatkan NPV=0, sesuai Grafik 4.2.



Gambar 4. 2. Grafik pengaruh perubahan variabel harga motor baru terhadap NPV

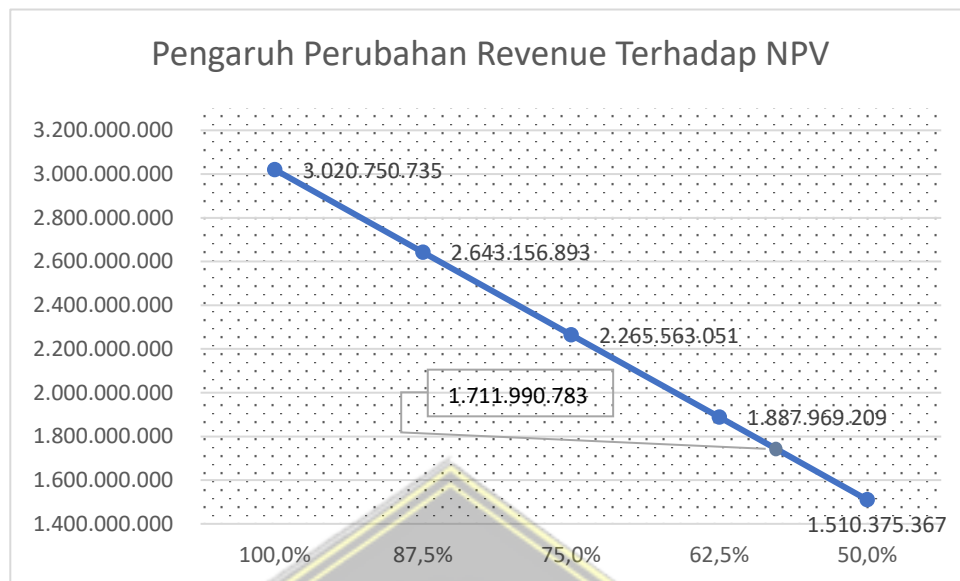
4.5.2. Sensitifitas Terhadap Penurunan Revenue

Perubahan variabel nilai revenue, harga pembelian motor baru dan Tingkat diskonto diasumsikan tetap sepanjang masa investasi. Pengaruh penurunan revenue terhadap NPV ditampilkan dalam Tabel 4.13.

Tabel 4. 13. Sensitifitas atas perubahan revenue

Sensitivity of Revenue					
	100%	88%	75%	63%	50%
PP	4 tahun	4 tahun	5 tahun	6 tahun	7 tahun
NPV	8.041.763.351	5.721.612.651	3.401.461.951	1.081.311.250	- 1.238.839.450
IRR	25,83%	21,56%	17,09%	12,34%	7,18%

Hasil interpolasi yang dilakukan, didapatkan pada penurunan revenue hingga menyentuh 56,67% atau setara Rp.1.711.990.783,- per tahun, akan mengakibatkan NPV=0 sesuai Grafik 4.3.



Gambar 4. 3. Grafik pengaruh perubahan revenue terhadap NPV

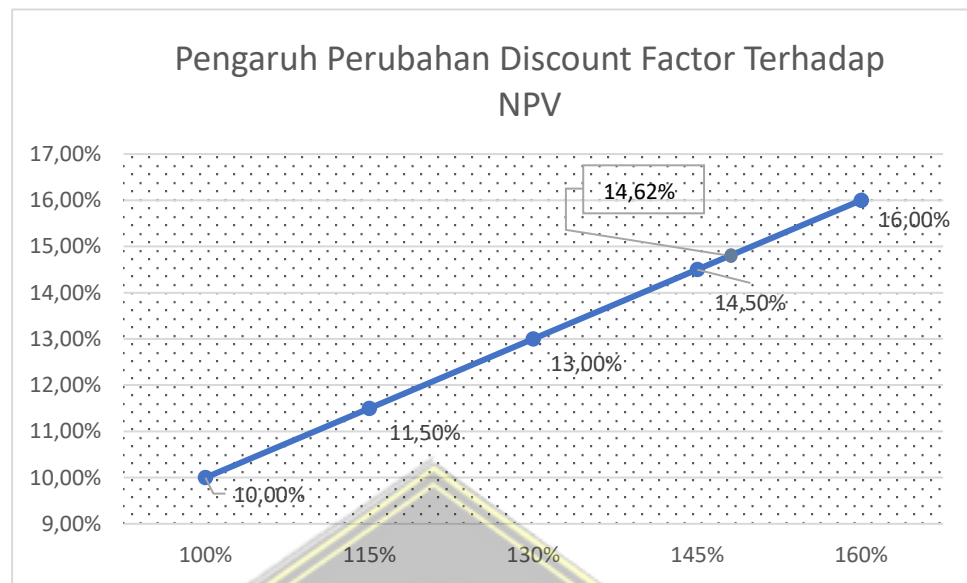
4.5.3. Sensitifitas Terhadap Perubahan Discount Factor

Perubahan variable tingkat discount, harga pembelian motor baru dan nilai revenue diasumsikan tetap sepanjang masa investasi. Pengaruh kenaikan tingkat discount terhadap NPV ditampilkan dalam Tabel 4.14.

Tabel 4. 14. Sensitifitas atas perubahan discount factor

Sensitivity of Discount Factor					
	100%	115%	130%	145%	160%
PP	4 tahun	5 tahun	5 tahun	6 tahun	6 tahun
NPV	8.041.763.351	5.325.639.114	2.716.054.043	200.690.379	- 2.231.132.142
IRR	25,83%	21,37%	17,79%	14,84%	12,34%

Hasil interpolasi yang dilakukan, didapatkan pada kenaikan nilai tingkat discount sebesar 146,24% atau setara tingkat discount 14,62% akan mengakibatkan NPV=0 sesuai Grafik 4.4.



Gambar 4. 4. Pengaruh perubahan discount factor terhadap NPV

4.6. Pengaruh penggantian motor BFP terhadap kondisi eksisting

Berdasarkan data pada Tabel 4.9. di atas, dengan penggantian 1 unit motor BFP akan terjadi penghematan energi pemakaian sendiri sebesar:

$77.703.004 - 74.604.798 = 3.098.206$ kWh pertahun untuk setiap motor BFP atau setara dengan 9.294.618 kWh untuk 3 motor BFP di Unit 1 dan Unit 2. Penghematan ini berkontribusi terhadap penurunan energi pemakaian sendiri menjadi 7,11 % dari sebelumnya 7,2% atas energi gross yang dibangkitkan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa dan perhitungan yang telah dilakukan dalam penelitian ini dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan analisa Capital Budgeting yang meliputi Payback Period, Net Present Value dan Internal Rate Return, opsi penggantian motor BFP baru sesuai eksisting dengan spesifikasi sistem pendingan yang ditingkatkan layak untuk dilakukan karena berpotensi menguntungkan.
2. Potensi penurunan energi Pemakaian Sendiri dengan penggantian motor BFP adalah sebesar 9.294.618 kWh per tahun.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil analisa dan perhitungan yang telah dilakukan dalam penelitian ini

1. Perlu dilakukan analisa lanjutan untuk opsi rewinding di manufaktur OEM terkait factor biaya dan durasi pekerjaan serta target efisinsi yang harus dicapai, mengingat beberapa part sudah mengalami penuaan sehingga perlu dilakukan penggantian (pekerjaan tambah) sementara untuk lingkup pekerjaan rewinding lebih berfokus pada lilitan stator motor.
2. Analisa sensitifitas dapat dilanjutkan dengan memperhitungkan skenario 3 variabel yang berubah secara bersamaan untuk lebih mempertajam sensititas rencana investasi yang akan dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Halim and Untung, R. (2005) *Analisis investasi*. Jakarta: Salemba Empat.
- Afgani, K.F. (no date) 'Risk Management'. Bandung: SBMITB, pp. 1–12.
- Analisis Sensitifitas* (no date) *Prodi Agribisnis FP UNS*. Available at: <https://spada.uns.ac.id/mod/resource/view.php?id=45203> (Accessed: 25 January 2024).
- Astutiningsih, T.R. (2018) 'Analisis Kelayakan Bisnis Pada Investasi Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Meureubo 48 MW Di Aceh', *Tesis*, pp. 1–220.
- Chien, Y.H. and Chen, J.A. (2007) 'Optimal age-replacement model with minimal repair based on cumulative repair cost limit and random lead time', *IEEM 2007: 2007 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, (December), pp. 636–639. Available at: <https://doi.org/10.1109/IEEM.2007.4419267>.
- Citrasari, G. and Imam, S. (2021) 'Analisa Kelayakan Investasi Penggantian Mesin Bag Making Di PT X', *Journal Printing and Packaging Technology*, 2(1), p. 2021.
- Dr Jayamaha, L. (2018) 'Reference Manual For Motor Driven Systems', in. Singapore: LJ Energy Pte Ltd Singapore.
- Ekayana Etc (2021) *Book Chapter Penganggaran*. I, *Penganggaran Perusahaan*. I. Bandung: Widina Bhakti Persada Bandung.
- Gitman, L.J. and Zutter, C.J. (2015) *Principles of Managerial Finance 14th Edition*, Pearson Education Limited.
- Haming, Murdifin, SE, M.S., Salim and Basalamah, SE, M.S. (2003) *Studi Kelayakan Investasi (Proyek Dan Bisnis)*. Jakarta: PPM.
- 'Heat Steam Balance Diagrams PLTU TJB Unit 1&2' (no date).
- Kasmir, J. (2006) *Studi Kelayakan Bisnis*. Jakarta: Kencana.
- Kurniawan, A. (2019) 'Studi Kelayakan Penggantian Kendaraan Operasional PTVI Berbasis Energi Fosil Menjadi Kendaraan Listrik'. Available at: <https://repository.its.ac.id/62370/>.
- Luthfi, R.F. (2020) *ANALISA PENGGANTIAN GENERATOR PEMBANGKIT (STUDI KASUS PLTU LABUAN)*.

- Mahardika, M.I. (2016) *PENILAIAN PROYEK DENGAN MENGGUNAKAN PEMBIAYAAN SYARIAH (IJARAH MUNTAKHIFAH BITAMILLIK)*. Sepuluh Nopember Institute Technology.
- MC COY, G.A. and DOUGLASS, J.G. (2000) 'Energy Management for Motor Driven', in. WASHINGTON: U.S DEPARTMENT OF ENERGY, pp. 7–4.
- Nurfitrani, A.F. and Suryawati, R.F. (2017) 'Faktor-faktor yang memengaruhi penerapan Payback Period sebagai teknik penganggaran modal pada UMKM di kota Bogor', pp. 8(2), 89–102.
- Oktaviyani, E. (2013) 'Analisa Kelayakan Investasi Penggantian Mesin Produksi PT. Wahanamas Panca Jaya Kudus: Suatu Analisis Kuantitatif dan Kualitatif'. Available at: <https://repository.uksw.edu/handle/123456789/6129>.
- 'Plant Basic Operating Description' (2004). Sumitomo Corporation, pp. 1–13.
- PLN UIK Tanjung Jati B Sukses Pasok Listrik Andal Selama Periode Siaga Nataru* (2025). Available at: https://www.kompas.id/baca/adv_post/pln-uik-tanjung-jati-b-sukses-pasok-listrik-andal-selama-periode-siaga-nataru.
- Pujawan, N. (2019) *Ekonomi Teknik*. 3rd edn. Edited by L. Mayasari. Surabaya: LAUTAN PUSTAKA Yogyakarta.
- Rai, K., Seksena, S.B.L. and Thakur, A.N. (2017) 'Economic Efficiency Measure of induction motors for industrial applications', *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 7(4), pp. 1661–1670. Available at: <https://doi.org/10.11591/ijece.v7i4.pp1661-1670>.
- Rasid, P.H.N. (2020) 'Analisis Investasi Alat Berat Pada Proyek Swakelola Yayasan Badan Wakaf Universitas Islam Indonesia', p. 20.
- Ridwan, A.F., Romli, Z. and Soeroto, W.M. (2022) 'Analisa Kelayakan Investasi Proyek Penggantian Secondary Crusher Pada Pt Berau Coal Site Binungan', *Sebatik*, 26(1), pp. 1–8. Available at: <https://doi.org/10.46984/sebatik.v26i1.1832>.
- Riyanto, B. (1988) *Penganggaran modal (capital budgeting)*. 1st edn. Yogyakarta: PPBA PAU Ekonomi UGM.
- Schueler, V. and Douglass, J. (1996) 'Quality Electric Motor Repair':
- Suratman (2001) *Studi Kelayakan Proyek (Tehnik dan Prosedur Penyusunan Laporan)*. Yogyakarta: J & J Learning.

- Syamsuddin, L. (2009) *Manajemen Keuangan Perusahaan*. Baru. Jakarta: Raja Grafindo Persada.
- Tandelilin, E. (2001) *Analisis Investasi dan Manajemen Portofolio*. Yogyakarta: BPFE.
- ‘The Babcock & Wilcox Company’ (1996) *Journal of the Japanese Society of Pediatric Surgeons*, 2(1), p. 135.
- Vesma, V. (2009) *Energy Management Principles and Practice*. First. London: BSI 389 Chiswick High Road London W4 4AL.
- Wijayanti, C.I. and Sutopo, W. (2017) ‘Analisis Kelayakan Penggantian Nozzle Soot Blower pada PT. PJB UP Paton Unit 1 dan 2’, *PERFORMA : Media Ilmiah Teknik Industri*, 16(1), pp. 26–35. Available at: <https://doi.org/10.20961/performa.16.1.12746>.
- Zainuri, D. (2021) *Ekonomi Teknik*. 1st edn. Padang: CV. Jasa Surya.

