

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

Janu Purbowo^{1*}, Agus Adhi²

¹ Universitas Islam Sultan Agung Semarang; email : dianoe81@yahoo.com

² Universitas Islam Sultan Agung Semarang, email :

Abstract: PLTU Tanjung Jati B have capacity 2,640 MW Nett that provide around 11% of JAMALI electric load. PLTU Tanjung Jati B unit 1 – 4 use sub critical boiler to produce the superheated steam to rolling the steam turbine during Economic Continuous Rate (ECR) 100%. Based on rankine siklus, preliminary pressure is produced by Boiler Feed Pump (BFP) deliver the condensate water from Deaerator to Boiler Drum and increase the pressure from 8.33 bar to be 208.2 bar. Energy consumption of unit 1&2 is around 7.2 % equal to 732,583 mWh where the biggest consumption is to operate the BFP. Beside as the biggest consumer of energy, its history of the motors has been operated for 17 years, the motors during several times have get the trouble and affect to reliability and efficiency of the plant. The temperature of winding motor sometimes increased and reach more than 135 °C and cause the motor was trip. There are 5 alternatives be assessed and then be chosen the best alternative, the first assessment is by risk assessment, then capital budgeting and continue by sensitivity analysis. As Technical, alternative replace by new OEM motor and alternative rewinding the existing motor to OEM manufacture are feasible to be carried out, however based on capital budgeting, the replacing by new motor from OEM is the most feasible alternative with NPV 8.04 billion, PP 3.48 years and IRR 25.94%.

Keywords: Boiler Feed Pump; Capital Budgeting; Net Present Value; Payback Period; Internal Rate Return

Abstrak: PLTU Tanjung Jati B memiliki kapasitas 2.640 MW Nett yang menyediakan sekitar 11% dari beban listrik JAMALI. PLTU Tanjung Jati B unit 1 – 4 menggunakan boiler sub kritis untuk menghasilkan uap super panas untuk memutar turbin uap selama Economic Continuous Rate (ECR) 100%. Berdasarkan siklus rankine, tekanan awal dihasilkan oleh Boiler Feed Pump (BFP) yang mengalirkan air kondensat dari Deaerator ke Boiler Drum dan meningkatkan tekanan dari 8,33 bar menjadi 208,2 bar. Konsumsi energi unit 1&2 sekitar 7,2% sama dengan 732.583 mWh dimana konsumsi terbesar adalah untuk mengoperasikan BFP. Selain sebagai konsumen energi terbesar, sejarah motornya telah dioperasikan selama 17 tahun, motor selama beberapa kali mengalami masalah dan mempengaruhi keandalan dan efisiensi pembangkit. Suhu motor yang berliku terkadang meningkat dan mencapai lebih dari 135 °C dan menyebabkan motor trip. Terdapat 5 alternatif yang perlu dikaji dan kemudian dipilih alternatif terbaik. Penilaian pertama dilakukan melalui penilaian risiko, kemudian penganggaran modal, dan dilanjutkan dengan analisis sensitivitas. Secara teknis, alternatif penggantian motor OEM baru dan alternatif penggulungan ulang motor lama ke pabrikan OEM layak untuk dilakukan. Namun, berdasarkan penganggaran modal, penggantian motor baru dari OEM merupakan alternatif yang paling layak dengan NPV 8,04 miliar, PP 3,48 tahun, dan IRR 25,94%.

Kata kunci: Boiler Feed Pump; Capital Budgeting; Net Present Value; Payback Period; Internal Rate Return

Diterima: Oktober 20, 2025

Direvisi: Oktober 28, 2025

Diterima: Oktober 29, 2025

Diterbitkan: November 20, 2025

Versi sekarang: November 20, 2025



Hak cipta: © 2025 oleh penulis.

Diserahkan untuk kemungkinan publikasi akses terbuka berdasarkan syarat dan ketentuan lisensi Creative Commons Attribution (CC BY SA) (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>)

1. Pendahuluan

Boiler Feed Pump adalah salah satu critical equipment dalam sebuah PLTU, pada PLTU Unit 1-2 terpasang 3 unit BFP-M dengan skema 2 unit beroperasi dan 1 unit standby, jika ada

salah satu unit mengalami kegagalan secara otomatis BFP yang standby akan beroperasi, oleh karena itu performance BFP harus siap beroperasi.

Permasalahan, berdasar riwayat operasi selama 17 tahun, telah terjadi beberapa kali gangguan pada motor BFP yang berpengaruh terhadap keandalan dan efisien operasional PLTU Unit 1-2, diantaranya disebabkan temperature winding naik mencapai $> 135^{\circ}\text{C}$ hingga motor trip. Selain itu, berdasar parameter operasi, Arus motor BFP 1B (Desember 2019) jauh lebih rendah dibanding 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

Solusi terhadap permasalahan tersebut dilakukan dengan metode capital budgeting 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 yang pendek dan terjadinya penurunan efisiensi karena aging [1].

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 menggunakan perhitungan PP, NPV, IRR setelah sebelumnya dilakukan penilaian risiko dan analisa kelayakan dari sisi teknis untuk mendapatkan alternatif yang paling layak.

2. Tinjauan Literatur

Penelitian sebelumnya banyak yang membahas tentang analisis kelayakan investasi di sektor energi, khususnya pembangkit listrik. Misalnya, penelitian oleh Mohammad Iqbal Mahardika dengan judul Penilaian Proyek dengan Menggunakan Pembiayaan Syariah [2]. Penelitian ini menilai rencana pengembangan usaha PT X yang berencana membangun 2 Unit PLTU dengan kapasitas masing-masing 80 Mwe. 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" [3] 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.

2.1. Boiler Feed Pump

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 m³/jam dan Head 2.173,4 mAq, sedangkan pompa booster (BFPBP) merupakan sebuah pompa single stage dengan kapasitas 1.374 m³/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.

2.2. Menentukan Beban Motor

Hasil pembacaan alat ukur secara langsung dapat digunakan untuk memperkirakan beban motor [4]. 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}):

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

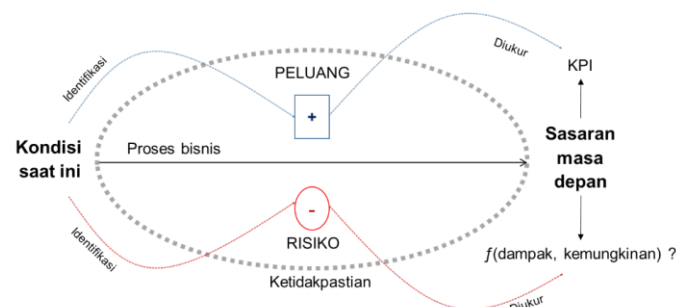
Efisiensi merupakan rasio atau perbandingan antara beban motor terhadap daya input motor:

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

2.3. 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 1. Hubungan antara ketidakpastian, peluang, risiko dan sasaran

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 1.

3. Kriteria dampak (*impact*) sesuai Tabel 2.

Tabel 1. 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. 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 [5].

2.4. Capital Budgeting

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 [6], dengan tujuan:

1. Memperkirakan kemungkinan untung rugi dari dana yang dikeluarkan dalam jangka waktu yang lama.
2. Menghitung dengan cermat kebutuhan dana perusahaan.

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) [6].

2.4.1. 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 [7].

Persamaan (1) digunakan untuk menghitung PP sebagai berikut:

$$PP = \frac{CF_0}{CF_t}$$

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.

2.4.2. Net Present Value (NPV)

Net Present Value (NPV) adalah prediksi arus kas di masa mendatang dan telah didiskonkan saat ini [8]. Persamaan (2) digunakan untuk menghitung NPV sebagai berikut:

$$NPV = PV - CF_0$$

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

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

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*

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

2.4.3. Internal Rate of Return (IRR)

IRR adalah tingkat pengembalian suatu investasi pada saat $NPV = 0$. 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 [9].

Persamaan (3) digunakan untuk menghitung IRR sebagai berikut:

$$CF_0 = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+IRR)^t}$$

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

2.4.4. Analisa Sensitivitas

Analisa sensitivitas dilakukan dengan cara mengubah nilai dari suatu parameter pada suatu waktu untuk selanjutnya dilihat bagaimana pengaruhnya terhadap akseptabilitas suatu alternatif investasi [7]. 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.

3. Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif 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 tentang kelayakan proyek berdasarkan metode penganggaran modal, yang dibagi menjadi empat tahap sebagai berikut:

a. Tahap Persiapan

Terdiri dari perumusan masalah, penetapan tujuan, tinjauan pustaka, dan studi lapangan.

b. Tahap Pengumpulan Data

Data primer diperoleh melalui pengumpulan data lapangan langsung dan data yang tercatat dalam aplikasi TOPi, wawancara dengan 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 terdiri dari data umum perusahaan, riwayat kegagalan motor BFP, riwayat perbaikan motor BFP, dan estimasi biaya untuk setiap alternatif perbaikan atau pengadaan motor BFP.

c. Menentukan opsi-opsi perbaikan dan dilanjutkan seleksi awal

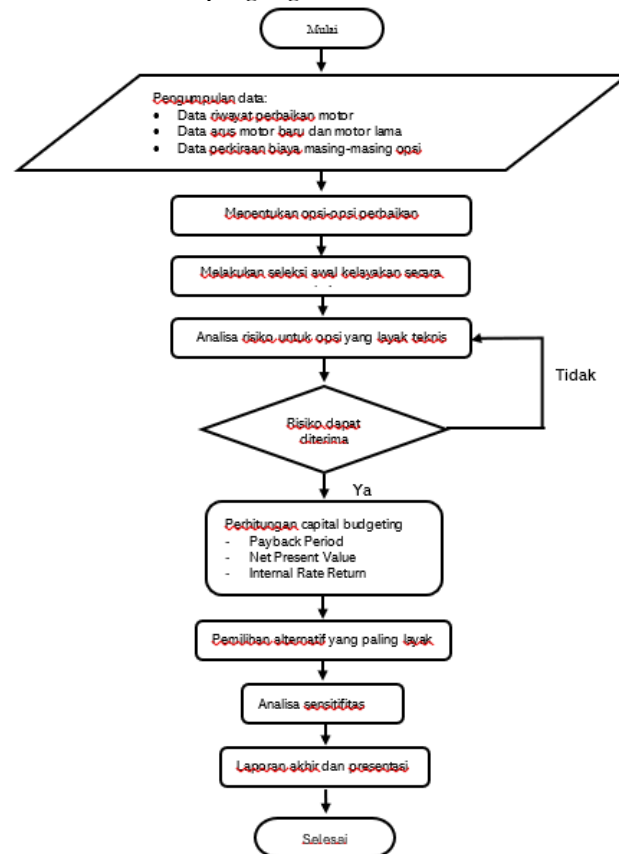
d. Penilaian risiko untuk opsi-opsi yang lolos tahap seleksi awal

e. Tahap Analisis dan Pemrosesan Data

Analisis difokuskan pada pemilihan alternatif perbaikan atau penggantian motor BFP dari perspektif kelayakan investasi menggunakan metode capital budgeting. Studi ini

menggunakan perhitungan Payback Period (PP), Net Present Value (NPV), dan Internal Rate of Return (IRR),

- f. Penilaian alternatif yang paling layak
- g. Analisis sensitivitas untuk memitigasi risiko yang timbul dari perubahan yang terjadi selama masa proyek berdasarkan asumsi yang digunakan.



Gambar 2. Flow chart penelitian

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. 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
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.
3. *Rewinding* di workshop manufacture motor/*Original Equipment Manufacturer*, 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.

Opsi pertama merupakan kegiatan rutin yang dilakukan sebagai pemeliharaan periodik tahunan yang dilakukan pada saat periode *Planned Outage*. 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 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..

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:

4.2. Kajian Risiko

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 3.

Tabel 3. Identifikasi risiko

No	Source	Description	Cause	Impact
1	Man	Errors in motor installation	- Limited human resources, requiring additional human resources each time a motor is replaced due to the increasing workload - Limited human resource competency in installing large motors with varying dimensions.	Impact in terms of Losses or Opportunity Loss: - Loss of kWh due to slow derating units due to the motor installation process requiring adjustments in several areas, amounting to 237,600 MWh, equivalent to IDR 231.6 billion (SIGNIFICANT). - Damage to critical assets requiring repairs within 1-6 months (SIGNIFICANT).
2	Machine	Vibration in the motor	- The motor is heavier than the existing one. - The foundation must be cut to adjust the motor's height relative to the pump.	Damage to critical assets requiring repairs within 6-12 months (VERY SIGNIFICANT).
3	Method	Suboptimal Asset Rotation Scheme Method	- The motor's specifications and dimensions differ from the existing one; adjustments must be made to several pipes for lubrication, water, etc. - Not plug-and-play, requiring readjustment every time a motor is replaced, resulting in a longer lead time.	Impact in terms of Losses or Opportunity Loss: - Significant kWh loss due to the long motor replacement period, amounting to 237,600 MWh, equivalent to IDR 231.6 billion. - A more diverse material reserve is needed in the warehouse to increase inventory value.
4	Machine	High winding temperature	High ambient motor temperature.	Motor trip
5	Machine	High winding temperature	Poor rewinding process and results	Motor trip
6	Machine	Decreased motor efficiency	Poor rewinding process and results	Electrical energy consumption (kWh) increases.

Tabel 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 5. Perlakuan risiko

No	Description & Risk Level	Risk Inherent	Risk Mitigation Plan	Risk Residual
1	Errors in motor installation	Very Significant (E4)	- Conduct training with the manufacturer. - Contract work with a third party.	Significant (D4)
2	Vibration in the motor	Very Significant (E5)	- Ensure the foundation remains level after cutting. - Ensure the motor and pump alignment meets standards.	Very Significant (D5)
3	Suboptimal of Asset Rotation Scheme Method	Very Significant (D5)	- Provide additional foundation plates for existing motors. - Provide additional equipment modifications according to existing conditions.	Significant (D4)
4	High winding temperature	High (C3)	- Make several improvements to the motor's internals. - Add additional cooling equipment (improvements).	Low (A3)
5	High winding temperature	High (C3)	- Assign work to a competent manufacturer with appropriate methods (VPI).	Low (A3)
6	Decreased motor efficiency	High (C3)	- Assign work to a competent manufacturer with appropriate methods and equipment.	Low (A3)

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.

Berdasarkan kondisi sesuai point 5. 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 7950 jam/tahun.

4.3. 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 6.

Tabel 6. 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 7.

Tabel 7. 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 (1) dengan arus berdasar data pada tabel 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) dengan nilai efisiensi sesuai data pada tabel 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 (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 (1) dengan arus berdasar data pada Tabel 4.7:

$$\begin{aligned} P_i &= \frac{V \times I \times pf \times \sqrt{3}}{1000} \\ &= \frac{10.000 \times 627 \times 0,9 \times \sqrt{3}}{1.000} \\ &= 9.774 \text{ kW} \end{aligned}$$

Efisiensi motor diperoleh berdasarkan persamaan (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 8. 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

4.4. Perhitungan Capital Budgeting

Arus kas

Penghematan biaya atas energi yang digunakan terhadap kondisi eksisting adalah sesuai Tabel 8.

Alternatif 1:

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

Alternatif 2:

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

Penghematan biaya tersebut selanjutnya diasumsikan sebagai arus kas 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.

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 (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 dilakukan karena durasi pengembalian investasi lebih kecil dibanding umur investasi.

4.4.2. Net Present Value

Alternatif 1, perhitungan Net present value menggunakan persamaan (6):

$$\begin{aligned} NPV &= PV - CF_0 \\ PV &= CF \times (PVIFA_{r,n}) \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} PVIFA_{10\%,10} &= 6,1446 \text{ sehingga} \\ PV &= 3.020.750.735 \times 6,1446 \\ &= 18.561.304.966 \\ NPV &= 18.561.304.966 - 10.519.442.250 \\ &= 8.041.862.716 \end{aligned}$$

Alternatif 2:

$$\begin{aligned} PV &= 2.286.006.516 \times 6,1446 \\ &= 14.046.595.637 \\ NPV &= 14.046.595.637 - 8.075.745.500 \\ &= 5.970.850.137 \end{aligned}$$

Atas kondisi tersebut di atas dapat ditarik kesimpulan bahwasanya secara *Net Present Value*, kedua alternatif investasi ini layak dilakukan karena bernilai positif (>0).

4.4.3. IRR

Alternatif 1, perhitungan Internal Rate Return menggunakan persamaan (7):

$$\begin{aligned}
 CF_0 &= CF \times (PVIFA_{IRR\%,n}) \\
 10.519.442.250 &= 3.020.750.735 \times (PVIFA_{IRR\%,n}) \\
 \frac{10.519.442.250}{3.020.750.735} &= PVIFA_{IRR\%,10} \\
 3,4824 &= PVIFA_{IRR\%,10}
 \end{aligned}$$

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.

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

IRR > Discount Factor (10%)

Alternatif 2:

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

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

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

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.

$$\begin{aligned}
 IRR &= 24\% + \left\{ \left(\frac{3,5327 - 3,6819}{3,2689 - 3,6819} \right) \times (28\% - 24\%) \right\} \\
 &= 24\% + 1,445\% = 25,445\%
 \end{aligned}$$

IRR > Discount Factor (10%)

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.

Tabel 9. 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 10 bahwasanya untuk alternatif 1 (pengadaan motor baru sesuai OEM) lebih menguntungkan dalam semua kriteria, sehingga dipilih sebagai alternatif terbaik.

4.4.4. Analisa Sensitifitas

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.

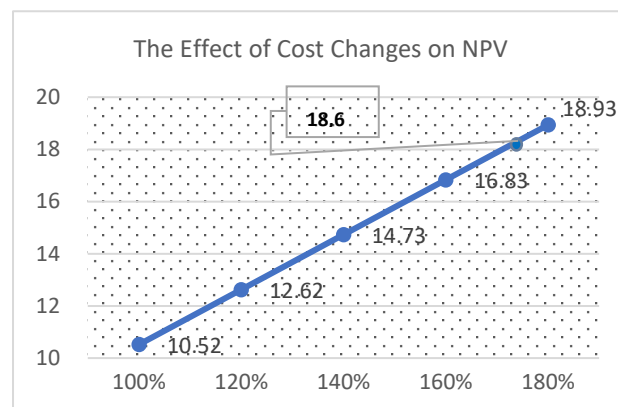
Sensitifitas Terhadap Kenaikan Harga Motor

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 10.

Tabel 10. 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 3.

**Gambar 3.** Grafik pengaruh perubahan variabel harga motor baru terhadap NPV

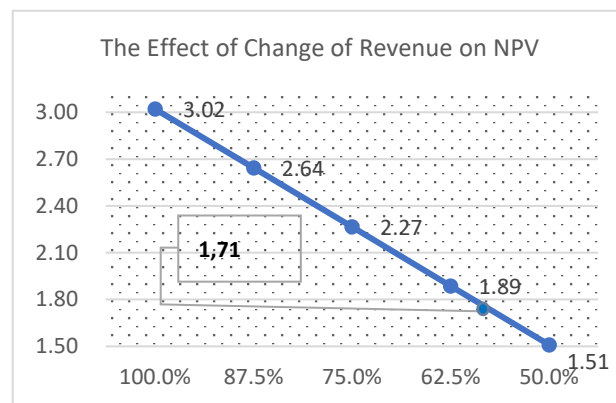
Sensitifitas Terhadap Penurunan Revenue

Perubahan variabel nilai revenue, harga pembelian motor baru dan Tingkat diskonto diasumsikan tetap sepanjang masa investasi. Pengaruh penurunan revenue terhadap NPV ditampilkan dalam Tabel 11.

Tabel 11. 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. Grafik pengaruh perubahan revenue terhadap NPV

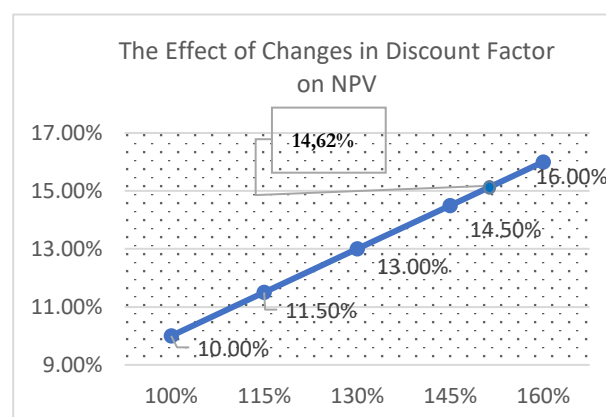
Sensitifitas Terhadap Perubahan Discount Factor

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 12.

Tabel 12. 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 5.



Gambar 5. Pengaruh perubahan discount factor terhadap NPV

Pengaruh penggantian motor BFP terhadap kondisi eksisting

Berdasarkan data pada Tabel 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.

5. 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 pendinginan 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.

Referensi

- [1] L. Dr Jayamaha, "Reference Manual For Motor Driven Systems," Singapore: LJ Energy Pte Ltd Singapore, 2018.
- [2] M. I. Mahardika, "PENILAIAN PROYEK DENGAN MENGGUNAKAN PEMBIAYAAN SYARIAH (IJARAH MUNTAHIYA BITAMILLIK)," Sepuluh Nopember Institute Technology, 2016.
- [3] T. R. Astutiningsih, "Analisis Kelayakan Bisnis Pada Investasi Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Meureubo 48 MW Di Aceh," *Tesis*, pp. 1–220, 2018.
- [4] G. A. MC COY and J. G. DOUGLASS, "Energy Management for Motor Driven," 2nd ed., WASHINGTON: U.S DEPARTMENT OF ENERGY, 2000, pp. 7–4.
- [5] K. F. Afgani, "Risk Management," *SBMITB, Bandung*.
- [6] L. Syamsuddin, *Manajemen Keuangan Perusahaan*, Baru. Jakarta: Raja Grafindo Persada, 2009.
- [7] N. Pujawan, *Ekonomi Teknik*, 3rd ed. Surabaya: LAUTAN PUSTAKA Yogyakarta, 2019.
- [8] Ekayana Etc, *Book Chapter Penganggaran*, I. Bandung: Widina Bhakti Persada Bandung, 2021.
- [9] D. Zainuri, *Ekonomi Teknik*, 1st ed., no. 1. Padang: CV. Jasa Surya, 2021.
- [10] Blank, L., & Tarquin, A. (2018). *Engineering Economy* (8th ed.). McGraw-Hill Education.
- [11] Brigham, E. F., & Houston, J. F. (2021). *Fundamentals of Financial Management* (16th ed.). Cengage Learning.
- [12] Damodaran, A. (2012). *Investment Valuation: Tools and Techniques for Determining the Value of Any Asset* (3rd ed.). John Wiley & Sons.
- [13] Ginting, R. (2019). *Manajemen Pemeliharaan Aset Industri*. Penerbit Andi.
- [14] Indonesia, PT PLN (Persero). (2019). *Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT PLN (Persero) 2019-2028*.
- [15] Mohan, T. R. (2017). *Power Plant Engineering*. PHI Learning Pvt. Ltd.
- [16] Prasetyo, A., & Santoso, B. (2020). Analisis Kelayakan Investasi Penggantian Motor Induksi dengan Motor Permanent Magnet pada Industri Semen. *Jurnal Teknik Energi*, 14(2), 45-52.
- [17] Sari, D. P., & Wijaya, A. (2021). Analisis Ekonomis Penggantian Boiler Feed Pump untuk Meningkatkan Efisiensi di PLTU XYZ. *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, 20(1), 33-42.
- [18] Sullivan, W. G., Wicks, E. M., & Koelling, C. P. (2020). *Engineering Economy* (17th ed.). Pearson.