

Analisis Kelayakan Proyek Pembangunan Pusat Listrik Tenaga Surya (PLTS) Apung Tembesi 40 MWp di Sistem Kelistrikan Batam – Bintan

Muhammad Ariansyah Putra¹, Eri Prabowo²

¹ *Institut Teknologi PLN, arian2210537@itpln.ac.id*

² *Institut Teknologi PLN, eri.prabowo@itpln.ac.id*

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kelayakan proyek pembangunan Pusat Listrik Tenaga Surya (PLTS) Apung Tembesi dengan kapasitas 40 MWp di sistem kelistrikan Batam – Bintan.

Dalam kelayakan finansial mencakup perhitungan biaya investasi, biaya operasi dan pemeliharaan, serta analisis manfaat biaya dengan menggunakan indikator seperti Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), dan Payback Period. Analisis kelayakan operasi meliputi alternatif pencapaian sasaran, penilaian cara pencapaian sasaran, ruang lingkup pekerjaan, dan kesimpulan kajian kelayakan operasional.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pembangunan PLTS apung di Waduk Tembesi secara teknis layak untuk dilaksanakan. Desain dan teknologi yang diusulkan mampu mendukung kinerja optimal sistem PLTS apung, memastikan operasional yang efektif dan efisien. Analisis finansial, termasuk pertimbangan sensitivitas dan asumsi yang ada, menunjukkan bahwa proyek ini layak secara finansial. Proyek ini memiliki tingkat pengembalian internal (IRR) yang memenuhi syarat kelayakan investasi. Tarif tersebut adalah 8.82 cUSD/kWh jika daya dievakuasi melalui jalur 150 kV, dan 7.96 cUSD/kWh jika dievakuasi melalui jalur 20 kV.

Berdasarkan hasil analisis tersebut, proyek pembangunan PLTS Apung Tembesi 40 MWp di sistem kelistrikan Batam – Bintan dinyatakan layak untuk dilaksanakan. Implementasi proyek ini diharapkan dapat meningkatkan pasokan energi terbarukan, mendukung ketahanan energi lokal, dan memberikan manfaat yang signifikan bagi wilayah Batam – Bintan.

Kata kunci: PLTS Apung, Kelayakan Operasi, Kelayakan Finansial

ABSTRAK

This study aims to analyze the feasibility of the Tembesi Floating Solar Power Center (PLTS) construction project with a capacity of 40 MWp in the Batam - Bintan electricity system.

The financial feasibility includes calculation of investment costs, operation and maintenance costs, and cost benefit analysis using indicators such as Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), and Payback Period. The operational feasibility analysis includes alternatives to achieving goals, assessment of how to achieve goals, scope of work, and conclusions of the operational feasibility study.

The results showed that the construction of a floating solar power plant in Tembesi Reservoir is technically feasible. The proposed design and technology are capable optimal performance of the floating solar PV system, ensuring effective and efficient operations. Financial analysis, including consideration of sensitivities and assumptions, shows that the project is financially viable. The project has an internal rate of return (IRR) that meets the investment feasibility requirements. The rates are 8.82 cUSD/kWh if the power is evacuated through 150 kV lines, and 7.96 cUSD/kWh if evacuated through 20 kV lines.

Based on the analysis, the construction of 40 MWp Tembesi Floating Solar Power Plant electricity system is declared feasible to be implemented.

Kata kunci: Floating Solar Power Plant, Operation Feasibility, Financial Feasibility

1. PENDAHULUAN

Energi memainkan peran penting dalam pembangunan nasional. Pertumbuhan ekonomi dan populasi yang pesat meningkatkan permintaan energi dan ketergantungan pada sumber daya alam, menyebabkan ketimpangan antara bahan bakar fosil dan pasokan energi. Menurut

Peraturan Pemerintah RI No. 79 Tahun 2014, target bauran energi terbarukan adalah 23% pada tahun 2025 dan 31% pada tahun 2050, dengan dasar keekonomian yang terpenuhi. Kebijakan ini tercermin dalam Peraturan Presiden No. 22 Tahun 2017 yang melahirkan Program Rencana Umum Energi Nasional (RUEN).

Data RUEN 2021 menunjukkan potensi energi terbarukan Indonesia meliputi panas bumi 29,5 GW, air 75 GW, mini/mikrohidro 19 GW, bioenergi 32,7 GW, energi surya 207,9 GW, dan energi angin 60,6 GW. Potensi energi surya Indonesia adalah 4,8 kWh/m²/hari atau setara dengan 112.000 GWp. Pengembangan PLTS sebagai bagian dari energi terbarukan harus diprioritaskan.

Penggunaan energi terbarukan dalam pembangkit listrik skala besar adalah solusi untuk mengurangi emisi gas rumah kaca [1]. Energi terbarukan memiliki potensi besar untuk memenuhi kebutuhan energi, dengan banyak penelitian yang terus dilakukan [2].

Untuk melakukan analisis ekonomi dalam mengimplementasikan pembangkit listrik tenaga surya, sangat penting untuk mempertimbangkan berbagai faktor seperti kelayakan teknis, kelayakan ekonomi, dan perhitungan keuangan. Beberapa studi memberikan wawasan berharga tentang desain, analisis, dan kelayakan pembangkit listrik tenaga surya, yang membantu dalam proses pengambilan keputusan.

Contreras melakukan analisis kelayakan pembangkit listrik tenaga surya dengan sistem pembangkit uap langsung, yang menunjukkan pentingnya analisis tekno-ekonomi dalam memperkirakan biaya energi yang diratakan dan meningkatkan kinerja pembangkit [3]. Jenis analisis ini membantu dalam membandingkan berbagai teknologi tenaga surya dan mengoptimalkan efektivitas biaya. Goswami melakukan analisis tekno-ekonomi pembangkit listrik tenaga surya terapung, yang menekankan pentingnya studi semacam itu untuk pembangunan berkelanjutan dan solusi energi yang hemat biaya [4]. Hal ini menyoroti perlunya mempertimbangkan aspek teknis dan ekonomi ketika mengevaluasi proyek tenaga surya.

Berdasarkan data Badan Pusat Statistik menjelaskan pertumbuhan ekonomi Indonesia pada tahun 2021 mencapai 3,51%. Pemerintah mengeluarkan RUPTL 2021-2030 sebagai panduan manajemen energi nasional, dengan target bauran energi terbarukan 23% pada tahun 2025. PLN Batam bekerja sama dengan PT TBS Energi Utama (Toba) untuk membangun PLTS terapung di Waduk Tembesi, Batam, dengan daya 35 MW.

Pemerintah menindaklanjuti Peraturan Menteri ESDM No. 2 Tahun 2018 dan No. 49 Tahun 2018 tentang penggunaan atap gedung untuk PLTS. Bali mendukung penggunaan PLTS atap minimal 20% di gedung-gedung

pemerintah, sesuai dengan Pergub No. 45 Tahun 2019 dan Surat Edaran Gubernur Bali No. 5 Tahun 2022. Target RUEN untuk Bali adalah mengembangkan PLTS sebesar 8,62% atau 108,2 MW dari total potensi 1.254 MW.

PLTS mengubah energi surya menjadi listrik dengan modul fotovoltaik (PV). Indonesia memiliki sumber energi surya berlimpah dengan intensitas radiasi matahari rata-rata 4,5 kWh/m² per hari [5]. Data dari PV Watts Calculator menunjukkan rata-rata intensitas radiasi matahari di Indonesia pada tahun 2022 sebesar 5,03 kWh/m² per hari. Energi surya memiliki potensi terbesar di antara jenis energi terbarukan lainnya di Indonesia, sebesar 207,8 GWp [6]. Oleh karena itu, PLTS sangat cocok digunakan sebagai sumber energi listrik cadangan maupun utama.

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk merancang PLTS sebagai sumber listrik utama atau cadangan. Sanjaya merancang sistem pompa irigasi sawah dengan PLTS untuk pertanian Subak Semaagung seluas 55 hektar, dengan biaya investasi awal Rp 1.168.137.010 [7]. Penelitian lain menggunakan PLTS untuk menghidupkan pompa air pada greenhouse hidroponik di Kabupaten Malang, menghasilkan air sebanyak 4.527 liter/hari [8]. Sistem PLTS terdiri dari beberapa komponen utama yaitu panel surya, Solar Charger Controller (SCC), baterai, dan inverter. Sistem instalasi PLTS terbagi menjadi On-Grid, Off-Grid, dan Hybrid System [9]. PLTS Off-Grid merupakan sistem pembangkitan yang tidak terhubung dengan jaringan listrik lainnya, sehingga memerlukan baterai sebagai penyimpan energi [10]. PLTS On-Grid terhubung dengan jaringan listrik PLN, tidak menggunakan baterai, dan dikenal dengan net-metering, dimana arus listrik diekspor ke PLN jika berlebih dan diimpor dari PLN jika kurang [11].

Perencanaan PLTS rooftop dengan PVSyst menghasilkan rekomendasi desain teknis dan tingkat keandalan pembangkitan berupa performance ratio (PR) [12]. Analisis kelayakan proyek dihitung berdasarkan Net Present Value (NPV), Benefit Cost Ratio (BCR), dan Payback Period (PP).

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini berjudul “Analisis Kelayakan Proyek Pembangunan Pusat Listrik Tenaga Surya (PLTS) Apung Tembesi 40 MWp di Sistem Kelistrikan Batam – Bintan”.

2. KERANGKA TEORITIS

PLTS

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah fasilitas yang menghasilkan listrik dari energi matahari menggunakan berbagai teknologi seperti sistem fotovoltaik, panas matahari, dan sistem hibrida. PLTS

berperan krusial dalam transisi ke energi terbarukan, mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, dan meminimalkan dampak lingkungan. Teknologi PLTS meliputi berbagai bentuk instalasi, termasuk di atap, terapung, dan skala besar, serta berbagai metode konversi energi seperti sel fotovoltaik, sistem tenaga surya terkonsentrasi, dan cerobong asap surya. Integrasi PLTS dengan sumber energi lain, seperti gas alam, juga meningkatkan efisiensi dan keandalan pasokan listrik [13], [14], [15].

PLTS bekerja dengan prinsip konversi energi matahari menjadi energi listrik melalui panel surya yang menyerap sinar matahari untuk menghasilkan arus listrik DC. Arus ini disimpan dalam baterai atau dikonversi menjadi listrik AC melalui inverter untuk digunakan dalam sistem kelistrikan. PLTS dapat terhubung ke jaringan listrik melalui Grid Tie Inverter, memungkinkan pertukaran daya dengan jaringan umum. Teknologi ini juga dapat diaplikasikan dalam berbagai konteks, seperti di kapal nelayan dan sektor pertanian, serta dalam sistem hibrida dengan sumber energi lain. PLTS merupakan solusi ramah lingkungan yang mengurangi polusi udara dan memiliki potensi ekonomis yang menguntungkan [16], [17]. Integrasi teknologi seperti Maximum Power Point Tracking (MPPT) dan evaluasi ekonomis juga mendukung pengembangan dan penerapan PLTS yang lebih efisien [18], [19].

Beban Pembangkit

Untuk mengelola beban dari pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) secara efisien, penting untuk mempertimbangkan integrasi PLTS dengan sumber energi terbarukan lainnya, seperti pembangkit listrik tenaga angin (PLTB), dalam sebuah microgrid. Microgrid menghubungkan generator terdistribusi untuk menyuplai listrik ke area tertentu [20]. Pengembangan PLTS skala besar menghadapi tantangan terkait ketersediaan lahan yang dekat dengan pusat beban [21].

PLTS menggunakan panel surya untuk mengubah sinar matahari menjadi listrik, dan merupakan sumber energi terbarukan utama. Upaya telah dilakukan untuk mengoptimalkan penggunaan tenaga surya dengan merancang sistem hibrida yang menggabungkan panel surya dan baterai untuk efisiensi daya. Evaluasi kinerja sistem hibrida penting untuk memahami potensi produksi listrik dan dampaknya pada konsumsi beban harian [22]. Sistem hibrida memanfaatkan beberapa sumber energi untuk menyuplai beban yang sama.

Pengembangan sistem pemantauan real-time dengan antarmuka berbasis web membantu mengontrol penggunaan energi dari PLTS, meningkatkan manajemen dan ketersediaan energi [23]. Panel surya dengan reflektor

tambahan dirancang untuk efisiensi yang lebih baik. Karena sifat fluktuatif dari PLTS, desain sistem hibrida dan sinkronisasi daya diperlukan untuk menjaga pasokan listrik yang stabil.

Integrasi PLTS dalam microgrid, serta penggunaan sistem hibrida dan teknologi pemantauan, sangat penting untuk mengelola dan meningkatkan kinerja PLTS. Pembangunan PLTS skala besar juga harus mempertimbangkan lokasi dekat pusat beban [24]. Studi menunjukkan bahwa PLTS, bersama dengan sumber energi lain seperti PLTB dan PLTH mikro, memerlukan kontrol beban untuk optimalisasi energi [25]. Integrasi PLTS dalam microgrid dapat meningkatkan efisiensi dan mengurangi kerugian daya.

Dengan roadmap pemerintah Indonesia untuk memasang 0.87 GW PLTS pada tahun 2025, pengembangan dan optimalisasi PLTS menjadi krusial untuk keberlanjutan energi [26].

Rancangan Anggaran Biaya Pembangunan dan Operasional PLTS

Direct Cost (Biaya Langsung)

Biaya langsung adalah biaya yang dapat ditelusuri langsung pada suatu objek biaya. Secara teoritis, biaya yang termasuk biaya langsung adalah biaya bahan langsung (direct material) dan biaya tenaga kerja langsung (direct labor). Direct cost merupakan biaya yang dikeluarkan untuk produksi barang dan biaya ini juga secara langsung dapat dibebankan ke produk tersebut. Direct cost adalah biaya yang secara spesifik untuk proyek tertentu, sebuah aktivitas pembelajaran, atau aktivitas institusi lain. Direct cost dapat dikenali secara langsung dengan mudah penggunaannya untuk sebuah aktivitas. Biaya langsung (direct cost) adalah biaya yang terjadi atau manfaatnya dapat diidentifikasi kepada objek atau pusat biaya tertentu.

Indirect Cost (Biaya Tidak Langsung)

Biaya tidak langsung disebut juga sebagai biaya overhead pabrik atau biaya produksi tidak langsung. Biaya tidak langsung merupakan biaya yang terjadi tidak hanya disebabkan oleh sesuatu yang dibiayai. Biaya tidak langsung (indirect cost) adalah biaya yang terjadi atau manfaatnya tidak dapat diidentifikasi pada objek atau pusat biaya tertentu, atau biaya yang manfaatnya dinikmati oleh beberapa objek atau pusat biaya.

NPV

Analisis NPV ini digunakan untuk menganalisis bagaimana nilai investasi dengan mempertimbangkan nilai mata uang dan menunjukkan perbedaan antara nilai sekarang dari keuntungan dan biaya. Rumus yang

digunakan dalam perhitungan Net Present Value (NPV) ditunjukkan pada rumus berikut:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t x^2}{(1+i)^t} - I_0$$

Keterangan:

NPV = Net Present Value (Rp)

CF_t = Aliran kas per tahun pada periode t

K = Suku bunga (discount rate)

I₀ = Investasi awal

t = tahun ke-t

n = jumlah tahun

Berikut merupakan indikator kelayakan dari hasil perhitungan NPV:

- Jika NPV > 0, maka suatu usaha menguntungkan dan layak untuk dijalankan
- Jika NPV < 0, maka suatu usaha merugikan dan tidak layak untuk dijalankan
- Jika NPV = 0, maka suatu usaha tersebut mampu mengembalikan modal

IRR

Internal Rate of Return (IRR) merupakan suatu tingkat bunga yang menunjukkan nilai bersih sekarang (NPV) sama dengan jumlah seluruh investasi usaha. Nilai IRR menunjukkan nilai aktual pengembalian dari suatu usaha. Rumus yang digunakan dalam perhitungan Internal Rate of Return (IRR) ditunjukkan pada rumus berikut:

$$IRR = i_1 + \frac{NPV_1}{NPV_1 - NPV_2} x (i_2 - i_1)$$

Keterangan:

IRR = tingkat bunga yang dicari harganya

I₁ = nilai suku bunga yang digunakan ketika NPV terakhir bernilai positif

I₂ = nilai suku bunga yang digunakan ketika NPV terakhir bernilai negatif

NPV₁ = NPV terakhir bernilai positif

NPV₂ = NPV terakhir bernilai negatif

PBP

Payback Periode adalah suatu periode yang diperlukan untuk menutupi kembali pengeluaran investasi (initial cash investment) dengan menggunakan aliran kas, dengan kata lain Payback Periode merupakan rasio antara initial cash investment dengan cash inflow-nya yang hasilnya merupakan satuan waktu. Perhitungan payback period untuk suatu proyek yang mempunyai pola cash inflow yang sama dari tahun ke tahun dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

$$Pay\ Back\ Period = \frac{Initial\ Investment}{Cash\ in\ flow}$$

3. METODE RISET

Alur Penelitian

- Memulai Penelitian: Langkah pertama untuk memulai proyek penelitian.
- Studi Literatur: Melakukan kajian terhadap jurnal, buku, dan informasi terkait PLTS untuk meningkatkan pemahaman.
- Pengumpulan Data Primer: Mengumpulkan data terkait Sistem Kelistrikan Batam-Bintan, seperti luasan waduk, beban terpasang, dan konsumsi energi.
- Pengumpulan Data Sekunder: Mengumpulkan data meteorologi seperti letak geografis, peak sun hour, dan iradiasi matahari.
- Perancangan Model PLTS: Mengembangkan model PLTS berdasarkan data yang telah dikumpulkan.
- Simulasi Model: Melakukan simulasi untuk memeriksa kinerja model PLTS.
- Analisis Investasi: Menilai periode pengembalian investasi, penghematan, dan efisiensi dari model PLTS yang dirancang.
- Kesimpulan dan Saran: Menyimpulkan hasil penelitian dan memberikan saran.
- Penelitian Selesai: Tahap akhir dari penelitian.

Metode Pengumpulan Data

- Pengumpulan Data Primer: Mengumpulkan data langsung melalui pengukuran, seperti luasan waduk dan penggunaan beban harian.
- Pengumpulan Data Sekunder: Mengumpulkan data dari buku, jurnal, dan lembaga terkait, mencakup data radiasi matahari, iradiasi, dan spesifikasi komponen PLTS.
- Metode Observasi: Melihat langsung kondisi di lapangan untuk memahami pelaksanaan penelitian.
- Langkah-langkah Perencanaan PLTS:
 - Pengkajian radiasi matahari.
 - Pengkajian area untuk pembangkitan.
 - Pengkajian konfigurasi sistem PLTS.
 - Pemilihan dan informasi spesifikasi peralatan PLTS.
- Desain PLTS: Mendesain PLTS dengan sistem Flat Plate Arrays pada atap gedung untuk efisiensi biaya dan penggunaan ruang.
- Simulasi: Meniru proses nyata untuk memodelkan kinerja PLTS.

Rancangan Sistem PLTS

1. PLTS Off-Grid: Sistem PLTS mandiri yang hanya menggunakan energi matahari, melibatkan PV Array, regulator atau SCC, dan baterai.
2. PLTS On-Grid: Sistem PLTS terhubung dengan jaringan PLN untuk mengurangi tagihan listrik, melibatkan PV Array, inverter on-grid, dan PLN sebagai backup.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Kajian Kelayakan Operasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Apung Tembesi 40 MWp

Dalam analisis kelayakan operasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Apung Tembesi 40 MWp, beberapa aspek penting perlu dipertimbangkan, termasuk alternatif cara pencapaian sasaran, penilaian cara pencapaian sasaran, ruang lingkup pekerjaan, kesimpulan kajian kelayakan operasional (KKO), dan kajian lingkungan.

Alternatif Cara Pencapaian Sasaran

Terdapat dua alternatif pada masing-masing aspek yang dipertimbangkan untuk mencapai sasaran, yaitu:

1. Pembangunan PLTS *Floating*

Dalam perencanaan pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), terdapat dua alternatif utama yang dipertimbangkan, yaitu PLTS floating dan PLTS mounting. Alternatif pertama, PLTS floating, melibatkan pemasangan panel-panel surya di atas permukaan air seperti danau, waduk, atau laut. Pendekatan ini memanfaatkan area yang tidak terpakai untuk memaksimalkan potensi energi surya. Keunggulan utama dari PLTS floating meliputi optimasi penggunaan ruang, peningkatan efisiensi panel surya akibat pendinginan dari kontak dengan air, serta pengurangan penguapan air di waduk atau danau. Namun, sebelum mengimplementasikan solusi ini, perlu dilakukan pertimbangan menyeluruh terhadap stabilitas struktur, perubahan tingkat air, dan dampak lingkungan.

2. Pembangunan PLTS *Mounting*

PLTS mounting, melibatkan pemasangan panel-panel surya pada struktur atau tanah di daratan. Metode ini memanfaatkan lahan terbuka yang tersedia untuk mengkonversi energi matahari menjadi listrik. Keuntungan dari PLTS di darat termasuk aksesibilitas yang lebih mudah untuk instalasi dan pemeliharaan serta biaya awal yang lebih rendah dibandingkan dengan PLTS floating. Namun, alternatif ini memerlukan lahan yang cukup luas dan mungkin memerlukan pengusuran vegetasi atau perubahan pada lingkungan lokal. Oleh karena itu, sebelum mengadopsi alternatif ini, penting untuk

melakukan analisis yang cermat terhadap kondisi lingkungan dan ekonomi, serta mempertimbangkan kebutuhan energi dan infrastruktur yang tersedia.

Penilaian Cara Pencapaian Sasaran

Tabel 1. Bobot Aspek Penilaian

Kriteria	Lahan	Biaya	Perizinan	Risiko	Operasi & Maintenance	Total	Score
Lahan		1	1	1	1	4	40,00 %
Biaya	0		1	1	0	2	20,00 %
Perizinan	0	0		0	1	1	10,00 %
Risiko	0	0	1		1	2	20,00 %
Operation & Maintenance	0	0	0	1		1	10,00 %
Total						10	100,00 %

Hasil penelitian mengevaluasi lima kriteria utama dalam proyek, yaitu Lahan, Biaya, Perizinan, Risiko, serta Operasi & Pemeliharaan, dengan memberikan skor berdasarkan kontribusi masing-masing kriteria terhadap yang lainnya. Lahan mendapat total skor tertinggi sebesar 4 dengan kontribusi 40,00%, menunjukkan pengaruh signifikan terhadap semua kriteria lainnya. Biaya memiliki skor total 2 dan kontribusi 20,00%, berpengaruh pada Perizinan dan Risiko. Perizinan berkontribusi hanya pada Operasi & Pemeliharaan dengan skor 1 dan kontribusi 10,00%. Risiko juga memiliki skor 2 dan kontribusi 20,00%, berpengaruh pada Perizinan dan Operasi & Pemeliharaan. Operasi & Pemeliharaan memberikan kontribusi pada Risiko dengan skor 1 dan kontribusi 10,00%. Total keseluruhan skor adalah 10, yang mencerminkan distribusi kontribusi masing-masing kriteria dalam evaluasi proyek dengan persentase total 100,00%.

Tabel 2. Dasar Pembobotan

Aspek	Bobot	Penjelasan Pemberian Bobot
Lahan	40%	Lahan merupakan faktor utama dalam pembangunan PLTS
Biaya	20%	Biaya merupakan indikator untuk penyediaan anggaran untuk setiap alternatif pekerjaan

Perizinan	10%	Menunjukkan tingkat kemudahan dan lamanya proses perizinan ke regulator terkait
Risiko	20%	Menunjukkan tingkat risiko pembangunan dan pelaksanaan pekerjaan
Operation & Maintenance	10%	Kemudahan pemeliharaan menjadi suatu pertimbangan dalam pekerjaan Maintenance ini

Tabel dasar pembobotan menggambarkan distribusi bobot untuk evaluasi pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Aspek Lahan memiliki bobot terbesar sebesar 40% karena merupakan faktor utama dalam pembangunan PLTS. Biaya diberi bobot 20%, menunjukkan pentingnya dalam penyediaan anggaran. Perizinan mendapat bobot 10%, mengindikasikan kemudahan dan durasi proses perizinan. Aspek Risiko juga diberi bobot 20%, mencerminkan tingkat risiko dalam pembangunan dan pelaksanaan. Terakhir, Operasi & Pemeliharaan memiliki bobot 10%, mempertimbangkan kemudahan pemeliharaan sebagai faktor penting.

Tabel 3. Skala Nilai

Nilai	Lahan	Biaya	Perizinan	Risiko	Operasi & Maintenance
1	Tidak tersedia	Komponen biaya PLTS melebihi BPP	Perizinan sangat sulit dan lama prosesnya	Pembangunan dan pelaksanaan pekerjaan sangat sulit	Pemeliharaan dan pengoperasian sangat sulit
2-4	Lahan tersedia luasannya terbatas	Komponen biaya PLTS sama dengan BPP	Perizinan mudah dan cepat prosesnya	Pembangunan dan pelaksanaan pekerjaan mudah	Pemeliharaan dan pengoperasian ekstra hati-hati
5-7	Lahan tersedia dan luasannya mencukupi	Komponen biaya PLTS dibawah BPP	Perizinan sangat mudah dan sangat cepat prosesnya	Pembangunan dan pelaksanaan pekerjaan sangat mudah	Pemeliharaan dan pengoperasian ekstra hati-hati

Tabel skala nilai menilai lima aspek penting dalam pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS): Lahan, Biaya, Perizinan, Risiko, dan Operasi & Pemeliharaan. Nilai 1 mencerminkan kondisi terburuk, dengan lahan yang tidak tersedia, biaya PLTS melebihi Biaya Pokok Produksi (BPP), perizinan yang sangat sulit dan lama, serta pemeliharaan yang sangat sulit. Nilai 2-4 menunjukkan kondisi yang lebih baik, di mana lahan tersedia tetapi terbatas, biaya PLTS setara dengan BPP, perizinan mudah dan cepat, dan pemeliharaan memerlukan perhatian ekstra. Nilai 5-7 menggambarkan kondisi optimal, dengan lahan yang cukup luas, biaya PLTS di bawah BPP, perizinan yang sangat mudah dan cepat, serta pemeliharaan dan pengoperasian yang mudah.

1. Pembangunan PLTS *Floating*

Tabel 4. Penilaian Alternatif Pembangunan PLTS *Floating*

Kriteria	Bobot	Rating	Weighting Score	Justifikasi
Lahan	40,00%	7	2,80	Lahan tersedia dan luasannya mencukupi
Biaya	20,00%	7	1,40	Komponen biaya PLTS dibawah BPP
Perizinan	10,00%	3	0,30	Perizinan mudah dan cepat prosesnya
Risiko	20,00%	1	0,20	Pembangunan dan pelaksanaan pekerjaan sulit
Operasi & Maintenance	10,00%	3	0,30	Pemeliharaan dan pengoperasian ekstra hati-hati
	Total Score	5,00		

Tabel di atas menunjukkan bahwa menunjukkan bahwa dari lima kriteria utama—Lahan, Biaya, Perizinan, Risiko, dan Operasi & Pemeliharaan—Lahan dan Biaya memperoleh skor tertinggi. Lahan, dengan bobot 40% dan rating 7, menghasilkan skor bobot 2,80, menandakan ketersediaan lahan yang luas dan memadai. Biaya, dengan bobot 20% dan rating 7, memperoleh skor 1,40, menunjukkan bahwa biaya PLTS berada di bawah Biaya Pokok Produksi (BPP). Sebaliknya, Risiko, dengan bobot 20% dan rating 1, hanya mendapatkan skor 0,20, menunjukkan tantangan signifikan dalam pembangunan dan pelaksanaan. Perizinan dan Operasi & Pemeliharaan, dengan bobot masing-masing 10%, memperoleh skor 0,30 masing-masing, mencerminkan proses perizinan yang relatif mudah dan kebutuhan pemeliharaan yang hati-hati. Total skor akhir dari evaluasi ini adalah 5,00, yang mencerminkan penilaian keseluruhan terhadap alternatif pembangunan PLTS Floating.

2. Pembangunan PLTS *Mounting*

Tabel 5. Penilaian Alternatif Pembangunan PLTS *Mounting*

Kriteria	Bobot	Rating	Weighting Score	Justifikasi
Lahan	40,00%	1	0,40	Lahan tidak tersedia
Biaya	20,00%	7	1,40	Komponen biaya PLTS dibawah BPP
Perizinan	10,00%	3	0,30	Perizinan mudah dan cepat prosesnya
Risiko	20,00%	4	0,80	Pembangunan dan pelaksanaan pekerjaan sulit
Operasi & Maintenance	10,00%	6	0,60	Pemeliharaan dan pengoperasian ekstra hati-hati

	Total Score	3,50		
--	--------------------	-------------	--	--

Tabel di atas menunjukkan bahwa menunjukkan bahwa aspek Lahan, meskipun memiliki bobot terbesar sebesar 40%, mendapatkan rating terendah yaitu 1, dengan skor bobot 0,40, karena lahan tidak tersedia. Biaya, dengan bobot 20% dan rating 7, memperoleh skor tertinggi sebesar 1,40, menandakan bahwa biaya PLTS berada di bawah Biaya Pokok Produksi (BPP). Perizinan, yang memiliki bobot 10%, mendapat rating 3 dan skor 0,30, menunjukkan bahwa proses perizinan mudah dan cepat. Risiko, dengan bobot 20%, memperoleh rating 4 dan skor 0,80, mencerminkan bahwa pembangunan dan pelaksanaan pekerjaan sulit. Operasi & Pemeliharaan, dengan bobot 10% dan rating 6, menghasilkan skor 0,60, menunjukkan bahwa pemeliharaan dan pengoperasian membutuhkan perhatian ekstra. Total skor akhir dari evaluasi ini adalah 3,50, yang mencerminkan penilaian keseluruhan terhadap alternatif pembangunan PLTS *Mounting*.

Dari alternatif-alternatif yang dinilai di atas, maka alternatif butir a yaitu Pembangunan PLTS *floating* yang terpilih sebagai alternatif terbaik dengan skor 5,0 lebih tinggi dibandingkan dengan alternatif butir b.

**Analisis Kajian Kelayakan Finansial Pembangkit
Listrik Tenaga Surya (PLTS) Apung Tembesi 40
MWp**

Sensitivity Analysis

Tabel 6. Sensitivity Analysis

DESCRIPTION	WACC	IRR Equity	IRR Project	NPV (US\$)	BCR	Payback Period		Levelized Tariff (cent\$/kWh)	Tariff ABDE [Rp/kWh]
Base Scenario	8.16%	12.09%	8.60%	1,474,888	1.03	9 Tahun	3 Bulan	\$ 8.82	1,323.00
BIAYA EPC									
- USD 624/ kWh (-10%)	8.16%	12.00%	8.56%	1,226,006	1.03	9 Tahun	4 Bulan	\$ 8.08	1,212.03
- USD 693/ kWh (Base)	8.16%	12.09%	8.60%	1,474,446	1.03	9 Tahun	3 Bulan	\$ 8.82	1,323.00
- USD 832/ kWh (+20%)	8.16%	8.41%	6.71%	-5,520,994	0.89	11 Tahun	1 Bulan	\$ 8.82	1,323.01
DEMAND TENAGA LISTRIK									
- 48,800 MWh (-20%)	8.16%	12.09%	8.60%	1,476,535	1.03	9 Tahun	3 Bulan	\$ 8.82	1,323.05
- 61,000 MWh (Base)	8.16%	12.09%	8.60%	1,474,446	1.03	9 Tahun	3 Bulan	\$ 8.82	1,323.00
- 70,150 MWh (+15%)	8.16%	12.09%	8.60%	1,474,330	1.03	9 Tahun	3 Bulan	\$ 8.82	1,322.98
BASE EXCHANGE RATE									
- 1 USD = Rp. 13,500 (-10%)	8.16%	12.08%	8.60%	1,474,941	1.03	9 Tahun	3 Bulan	\$ 8.86	1,328.67
- 1 USD = Rp. 15,000 (Base)	8.16%	12.09%	8.60%	1,474,446	1.03	9 Tahun	3 Bulan	\$ 8.82	1,323.00
- 1 USD = Rp. 18,000 (+20%)	8.16%	12.26%	8.69%	1,759,677	1.04	9 Tahun	2 Bulan	\$ 8.82	1,587.60

Dari tabel di atas terlihat bahwa kenaikan biaya capex (EPC) sebesar 20% dari biaya capex base scenario maka menghasilkan NPV yang minus. Namun untuk dua variable lainnya yaitu demand tenaga listrik dan kurs tidak berpengaruh signifikan terhadap perubahan NPV dengan swing masing-masing variable -10%, -20%, 15% dan 20% dengan komponen tariff yang fixed (LEGC) sebesar 8.82 cUSD/kWh dan tanpa komponen E sebesar 7.96 cUSD/kWh.

Perhitungan Nilai EPC PLTS Floating 40MWp

Tabel 7. Rencana Capex PLTS Floating 40 MWp

NO	URAIAN	RAB (Rp)
1	Development Cost	14,445,000,000
2	EPC Cost PLTS floating	478,345,161,220
3	Transmisi evakuasi daya ke GI	88,248,062,736
4	VAT, Import Tax & Duty Fee	57,270,000,000
TOTAL ANGGARAN INVESTASI		638,308,223,956

Berdasarkan total Capex dan kurs sebesar Rp. 15.000/USD maka diperoleh unit price sebesar USD 841,7/kW atau ekuivalen dengan total investasi Rp. 581,038,223,956,-. Namun jika opsi evakuasi daya

melalui jaringan 20 kV maka total anggaran investasi menjadi Rp. 492,790,161,220,- atau ekuivalen dengan unit price sebesar USD 713,9/Kkw.

Resume Proyek

Tabel 8. Hasil Simulasi LEGC Tarif Komponen ABDE

COMPONENT TARIFF		(Year 1)	(Year 11)
Component - A	c US\$/kWh	7.95	5.73
Component - B	c US\$/kWh	0.59	0.86
Component - C	c US\$/kWh	-	-
Component - D	c US\$/kWh	0.01	0.01
Component - E	c US\$/kWh	0.98	0.43
Total Tariff (\$ /kWh)		9.52	7.03
LEVELIZED TARIFF		c US\$/kWh	Rp/kWh
Component - A		7.12	1,067.93
Component - B		0.83	124.50
Component - C		-	-
Component - D		0.01	1.50
Component - E		0.86	129.06
Total ABCDE		8.82	1,323.00
Total ABD		7.96	1,193.94
Total ABDE		8.82	1,323.00

Tabel 9. Hasil Simulasi LEGC Tarif Komponen ABD (Tanpa Komponen E – Evakuasi Melalui 20 kV)

COMPONENT TARIFF		(Year 1)	(Year 11)
Component - A	c US\$/kWh	7.95	5.72
Component - B	c US\$/kWh	0.59	0.86
Component - C	c US\$/kWh	-	-
Component - D	c US\$/kWh	0.01	0.01
Component - E	c US\$/kWh	-	-
Total Tariff (\$ /kWh)		8.55	6.59
LEVELIZED TARIFF		c US\$/kWh	Rp/kWh
Component - A		7.12	1,067.78
Component - B		0.83	124.50
Component - C		-	-
Component - D		0.01	1.50
Component - E		-	-
Total ABCDE		7.96	1,193.78
Total ABD		7.96	1,193.78
Total ABDE		7.96	1,193.78

Untuk menganalisis investasi pada proyek PLTS, dilakukan capital budgeting analysis dengan fokus pada perhitungan Free Cash Flow to the Firm (FCFF). Perhitungan ini mencakup Cash Outlay dan Cash Inflow. Cash Outlay terdiri dari biaya Capital Expenditure (Capex) termasuk EPC (Engineering, Procurement, and Construction) dan Non-EPC, biaya Interest During Construction (IDC), biaya Operasi & Pemeliharaan (O&M), serta biaya bahan bakar. Selain itu, biaya financing seperti commitment fee, upfront fee, dan agency fee juga diperhitungkan.

Cash Inflow diperoleh dari pendapatan penjualan listrik, dihitung berdasarkan Capacity Factor (CF) produksi, harga jual rata-rata ke konsumen, serta losses akibat transmisi dan distribusi. FCFF dihitung menggunakan rumus:

Free Cash Flow to Firm = EBIT $\times$ (1-t) + Depreciation – Net Reinvestment

di mana Net Reinvestment adalah:

Net Reinvestment = Δ NWC + Δ Capex

Dalam perhitungan ini, Net Working Capital (NWC) diabaikan, mengasumsikan bahwa modal kerja tetap konstan selama periode studi.

5. PENUTUP

Analisis kelayakan operasi menunjukkan bahwa pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) apung dengan kapasitas 40 MWp di waduk Tembesi layak untuk dilaksanakan. Hal ini berarti proyek ini dapat dioperasikan dengan baik dalam konteks teknis dan operasional yang ada. Kajian kelayakan finansial proyek PLTS apung Tembesi 40 MWp, setelah mempertimbangkan analisis sensitivitas dan asumsi yang berlaku, menunjukkan bahwa proyek ini layak secara finansial dengan Internal Rate of Return (IRR) yang sesuai. Ini menandakan bahwa proyek memiliki prospek keuntungan yang baik dan layak untuk dilanjutkan dalam aspek finansial. Analisis kelayakan finansial dengan mempertimbangkan skema financial lease/IPP

menunjukkan bahwa proyek PLTS apung Tembesi 40 MWp layak untuk dilanjutkan jika tarif jual beli listrik adalah 8.82 cUSD/kWh dengan evakuasi daya melalui 150 kV atau 7.96 cUSD/kWh dengan evakuasi daya melalui 20 kV. Ini berarti proyek dapat menguntungkan dan layak berdasarkan tarif yang ditetapkan untuk dua skenario evakuasi daya.

REFERENSI

- [1] Wagh, Sumit, and P. V. Walke. "Review on wind-solar hybrid power system." *International Journal of Research In Science & Engineering* 3.2 (2017).
- [2] Jufrizel, Jufrizel, and Muhammad Irfan. "Perencanaan Teknis dan Ekonomis Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sistem On-Grid." *Seminar Nasional Teknologi Informasi Komunikasi dan Industri*. 2017.
- [3] Enciso Contreras, Ernesto, et al. "A feasibility analysis of a solar power plant with direct steam generation system in Sonora, Mexico." *Energies* 16.11 (2023): 4388.
- [4] Goswami, Anik, et al. "Floating solar power plant for sustainable development: A techno-economic analysis." *Environmental Progress & Sustainable Energy* 38.6 (2019): e13268.
- [5] Bachtiar, Muhammad. "Prosedur perancangan sistem pembangkit listrik tenaga surya untuk perumahan (solar home system)." *SMARTek* 4.3 (2006).
- [6] Afif, Faisal, and Awaludin Martin. "Tinjauan potensi Dan Kebijakan energi surya di Indonesia." *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material* 6.1 (2022): 43-52.
- [7] Sanjaya, Oya Iman, I. A. D. Giriantari, and IN Satya Kumara. "Perancangan Sistem Pompa Irigasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Untuk Pertanian Subak Semaagung." *Jurnal SPEKTRUM* Vol 6.3 (2019).
- [8] Budiyanto, Hery, Aries Boedi Setiawan, and Aris Siswati. "Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya pada Greenhouse Hidroponik di Desa Sutojayan, Kabupaten Malang." *Jurnal Pengabdian Dharma Wacana* 2.3 (2021): 160-169.
- [9] Al Nehru, Marshal Jawahar, Bengawan Alfaresi, and Feby Ardianto. "Analisa Performansi Photovoltaic 200 WP dan Pompa Air Dc pada Implementasi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)." *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi* 21.3 (2021): 1197-1200.
- [10] Artiyasa, Marina, Muhammad Natsir, and Bahadir Ozsut. "Design and Performance Analysis of OFFGRID PV mini-grid systems Simulation PVSYS in Sukabumi, West Java, Indonesia." *International Journal Engineering And Applied Technology* (IJEAT) 6.1 (2023): 33-39.
- [11] Sianipar, Rafael. "Dasar Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya." *Jetri: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro* (2014).
- [12] ASRORI, ASRORI, et al. "Kajian Kelayakan Solar Rooftop On-Grid untuk Kebutuhan Listrik Bengkel Mesin di Polinema." *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika* 10.4 (2022): 830.

- [13] Bamisile, O. and Dagbasi, M. (2015). Analysis of serhatkoy photovoltaic power plant and production over the years it application to a central city in nigeria (markurdi). *International Journal of Engineering Research And*, V4(04). <https://doi.org/10.17577/ijertv4is040751>.
- [14] Alqahtani, B. and Patiño-Echeverri, D. (2016). Integrated solar combined cycle power plants: paving the way for thermal solar. *Applied Energy*, 169, 927-936. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.02.083>.
- [15] Mendoza, M., Hutajulu, O., & Salman, R. (2022). Community constraints analysis in the use of solar power plants in indonesia. *Journal of Physics Conference Series*, 2193(1), 012079. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2193/1/012079>.
- [16] Damanik, T. and Silaban, S. (2023). Penerapan solar cell 200 wp listrik pada listrik rumah tangga. *Sinergi Polmed Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 4(1), 8-13. <https://doi.org/10.51510/sinergipolmed.v4i1.992>.
- [17] Hidayanti, D. and Dewangga, G. (2020). Rancang bangun pembangkit hybrid tenaga angin dan surya dengan penggerak otomatis pada panel surya. *Eksergi*, 15(3), 93. <https://doi.org/10.32497/eksergi.v15i3.1784>.
- [18] Rois, M., Lestari, R., Kaloko, B., & Mulyadi, A. (2022). Maximum power point tracking (mppt) sebagai pelacak daya puncak pada panel surya untuk optimasi pengisian baterai. *Jurnal Arus Elektro Indonesia*, 8(2), 56. <https://doi.org/10.19184/jaei.v8i2.32586>
- [19] Pramudita, B., Aprillia, B., & Ramdhani, M. (2021). Analisis ekonomi on grid plts untuk rumah 2200 va. *Jurnal Listrik Instrumentasi Dan Elektronika Terapan*, 1(2). <https://doi.org/10.22146/juliet.v1i2.61879>.
- [20] Nugraha, I. (2020). Penggunaan pembangkit listrik tenaga surya sebagai sumber energi pada kapal nelayan: suatu kajian literatur. *Jurnal Sumberdaya Akuatik Indopasifik*, 4(2), 101. <https://doi.org/10.46252/jsai-fpik-unipa.2020.vol.4.no.2.76>
- [21] Harmini, H. and Nurhayati, T. (2021). Optimalisasi pemanfaatan grid connected rooftop solar photovoltaic (spv) sebagai pengembangan green energy system. *Jurnal Ecotipe (Electronic Control Telecommunication Information and Power Engineering)*, 8(1). <https://doi.org/10.33019/jurnalecotipe.v8i1.2135>
- [22] Hernawan, A. (2024). Evaluasi kinerja sistem pembangkit listrik tenaga surya hybrid pada gedung centre of excellence universitas. *Transmisi Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 26(1), 31-39. <https://doi.org/10.14710/transmisi.26.1.31-39>
- [23] Arifin, Zaenal, Nur Islahudin, and Ahmad Vicqieh Al Jabbar. "Pemantauan Daya Luaran Panel Surya Secara Jarak Jauh Melalui Aplikasi Berbasis Website." *Jurnal Riset Rekayasa Elektro* 5.2 (2023): 93-102.
- [24] Harmini, H. and Nurhayati, T. (2021). Optimalisasi pemanfaatan grid connected rooftop solar photovoltaic (spv) sebagai pengembangan green energy system. *Jurnal Ecotipe (Electronic Control Telecommunication Information and Power Engineering)*, 8(1). <https://doi.org/10.33019/jurnalecotipe.v8i1.2135>.
- [25] Iswanjono, I. (2019). Load control for energy optimalization in unstabil electric power plant. *Conference*
- Senatik STT Adisutjipto Yogyakarta, 5. <https://doi.org/10.28989/senatik.v5i0.312>.
- [26] Stefanie, A. and Suci, F. (2021). Analisis performansi plts off-grid 600 wp menggunakan data akuisisi berbasis internet of things. *Elkomika Jurnal Teknik Energi Elektrik Teknik Telekomunikasi & Teknik Elektronika*, 9(4), 761. <https://doi.org/10.26760/elkomika.v9i4.761>.