



Analisa Ekonomi PLTS *Off-Grid* Dengan Teknologi *Pumped Storage* Di Kabupaten Mahakam Ulu

Rifqi Fajriyansyah¹, Irmalia Suryani Faradisa^{2*}

^{1,2}Teknik Elektro, Teknik Industri, Institut Teknologi Nasional Malang

¹fjhrifqi@gmail.com, ^{2*}irmalia_suryani_faradisa@lecturer.itn.ac.id

Abstract

Indonesia continues to face challenges in providing reliable and sustainable electricity, particularly in remote areas that are not yet connected to the main power grid. To support the transition toward clean energy, this study employs a quantitative financial feasibility analysis of a planned off-grid Solar Power Plant (PLTS) integrated with pumped storage technology, located in Batu Dinding, Long Bagun District, Mahakam Ulu Regency, East Kalimantan. The economic feasibility of the project is evaluated using Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), and Benefit-Cost Ratio (BCR) indicators, based on a project lifetime of 25 years and a total investment cost of Rp 93,715,779,999 funded through government grants. The results indicate a positive NPV of Rp 191,513,841,653, an IRR of 11.5%, and a BCR of 2.17, confirming that the project is financially feasible. Sensitivity analysis under scenarios of electricity tariff reductions (2%–5%) and investment cost increases up to 5% shows that the project remains economically viable. These findings demonstrate that off-grid PLTS integrated with pumped storage can serve as a sustainable energy solution for remote and isolated regions in Indonesia.

Keywords: Off-Grid Solar Power Plant, pumped storage, financial analysis, renewable energy, economic feasibility.

Abstrak

Indonesia masih menghadapi tantangan dalam penyediaan energi listrik yang andal dan berkelanjutan, khususnya di wilayah terpencil yang belum terhubung dengan jaringan listrik utama. Untuk mendukung transisi menuju energi bersih, penelitian ini menggunakan analisis kelayakan finansial secara kuantitatif terhadap rencana pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) off-grid yang terintegrasi dengan teknologi pumped storage, berlokasi di Batu Dinding, Kecamatan Long Bagun, Kabupaten Mahakam Ulu, Kalimantan Timur. Kelayakan ekonomi proyek dievaluasi menggunakan indikator Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), dan Benefit-Cost Ratio (BCR), dengan umur proyek selama 25 tahun dan total biaya investasi sebesar Rp 93.715.779.999 yang bersumber dari hibah pemerintah. Hasil analisis menunjukkan nilai NPV sebesar Rp 191.513.841.653, IRR sebesar 11,5%, dan BCR sebesar 2,17, yang mengindikasikan bahwa proyek ini layak secara finansial. Analisis sensitivitas terhadap skenario penurunan tarif listrik sebesar 2%–5% serta kenaikan biaya investasi hingga 5% menunjukkan bahwa proyek tetap berada pada kondisi layak secara ekonomi. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa PLTS off-grid yang terintegrasi dengan pumped storage berpotensi menjadi solusi energi berkelanjutan bagi wilayah terpencil dan terisolasi di Indonesia.

Kata kunci: PLTS Off-Grid, pumped storage, analisis finansial, energi terbarukan, kelayakan ekonomi.

Diterima Redaksi : 15-10-2025 | Selesai Revisi : 30-12-2025 | Diterbitkan Online : 31-12-2025

1. Pendahuluan

Kebutuhan energi listrik di Indonesia terus mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk, perkembangan industri, serta peningkatan taraf hidup masyarakat[1]. Energi listrik merupakan salah satu infrastruktur utama yang berperan penting dalam mendukung pertumbuhan ekonomi dan peningkatan kesejahteraan sosial. Salah satu wilayah yang mengalami peningkatan kebutuhan energi adalah Kabupaten Mahakam Ulu, Kalimantan Timur, yang hingga kini masih menghadapi keterbatasan infrastruktur kelistrikan.

Sebagai daerah yang sedang berkembang, ketersediaan energi yang andal dan berkelanjutan menjadi faktor penting untuk mendorong pembangunan di berbagai sektor. Sistem kelistrikan di sebagian besar wilayah Kalimantan saat ini masih sangat bergantung pada pembangkit berbasis energi fosil, seperti Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) dan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Ketergantungan pada energi fosil tidak hanya menimbulkan biaya operasional yang tinggi, tetapi juga berdampak negatif terhadap lingkungan melalui emisi karbon yang signifikan. Hal ini bertolak belakang dengan komitmen Indonesia dalam *Nationally Determined Contribution* (NDC)

untuk menurunkan emisi gas rumah kaca hingga terpompa di Kabupaten Mahakam Ulu, dengan 31,89% dengan usaha sendiri dan 43,20% dengan dukungan internasional pada tahun 2030, serta target pencapaian *net zero emissions* pada 2060 atau lebih cepat sesuai dengan Perjanjian Paris[2]. Sebagai solusi, pemanfaatan energi terbarukan menjadi semakin relevan untuk dikembangkan. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan salah satu opsi yang potensial karena wilayah Kalimantan Timur memiliki intensitas radiasi matahari yang tinggi sepanjang tahun. Namun demikian, tantangan utama dalam pemanfaatan PLTS adalah sifat intermiten yang menyebabkan pasokan listrik tidak stabil[3].

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, dibutuhkan sistem penyimpanan energi yang mampu menjaga kontinuitas suplai listrik. *Pumped storage hydropower* menjadi salah satu teknologi penyimpanan energi yang prospektif. Teknologi ini bekerja dengan cara memanfaatkan kelebihan energi listrik untuk memompa air ke reservoir atas, kemudian melepaskannya kembali ke reservoir bawah untuk menghasilkan listrik pada saat beban puncak atau ketika energi terbarukan tidak tersedia. Secara geografis, kawasan Batu Dinding di Sungai Mahakam memiliki potensi perbedaan elevasi yang dapat mendukung penerapan teknologi ini. Integrasi PLTS dengan *pumped storage* diharapkan mampu memberikan solusi dalam meningkatkan keandalan pasokan listrik, mengurangi emisi karbon, serta mendukung transisi energi menuju bauran energi yang lebih bersih. Selain itu, pengembangan proyek ini tidak hanya akan menjawab kebutuhan energi lokal di Mahakam Ulu, tetapi juga berkontribusi pada pencapaian target pengurangan emisi nasional serta pembangunan berkelanjutan.

Dalam konteks pembangunan pembangkit listrik, terdapat berbagai aspek yang perlu dipertimbangkan untuk menilai kelayakan suatu proyek, antara lain aspek hukum, pasar, finansial, manajemen, dan lingkungan[4]. Penelitian ini difokuskan pada kajian aspek finansial dengan menggunakan indikator evaluasi seperti *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR), dan *Benefit-Cost Ratio* (BCR). Analisis finansial menjadi penting untuk memastikan bahwa proyek pembangunan PLTS *Off-Grid* dengan teknologi *pumped storage* tidak hanya layak secara teknis dan lingkungan, tetapi juga memberikan manfaat ekonomi yang berkelanjutan.

Meskipun berbagai studi telah membahas potensi teknis pembangkit listrik tenaga surya dan sistem penyimpanan air terpompa, studi kelayakan finansial komprehensif yang berfokus pada PLTS off-grid yang terintegrasi dengan penyimpanan air terpompa di daerah terpencil di Indonesia masih terbatas. Sebagian besar penelitian yang ada menekankan kinerja teknis atau sistem yang terhubung ke jaringan listrik. Oleh karena itu, studi ini mengatasi kesenjangan tersebut dengan memberikan analisis kelayakan ekonomi terperinci dari sistem PLTS off-grid penyimpanan air

di Kabupaten Mahakam Ulu, dengan mempertimbangkan kinerja investasi jangka panjang dan ketahanan finansial.

2. Tujuan Penelitian

Berdasarkan kesenjangan penelitian yang telah diidentifikasi, penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengevaluasi kelayakan ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) off-grid yang terintegrasi dengan sistem penyimpanan energi pumped storage di Kabupaten Mahakam Ulu menggunakan indikator Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), dan Benefit-Cost Ratio (BCR); (2) menganalisis kinerja keuangan sistem selama masa proyek 25 tahun; serta (3) menilai ketahanan finansial proyek melalui analisis sensitivitas terhadap variasi biaya investasi dan tarif listrik.

3. Metode Penelitian

2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Metodologi penelitian ini dirancang untuk menjawab tujuan penelitian melalui pendekatan kuantitatif berbasis analisis kelayakan finansial. Setiap tahapan analisis disusun secara sistematis untuk mengevaluasi kelayakan ekonomi, kinerja keuangan jangka panjang, serta ketahanan finansial sistem PLTS off-grid yang terintegrasi dengan pumped storage di Kabupaten Mahakam Ulu.

Untuk memenuhi kebutuhan energi secara berkelanjutan tanpa kehawatiran terhadap keterbatasan sumber daya dapat dicapai melalui pemanfaatan energi surya sebagai sumber utama. Energi surya menawarkan keunggulan tidak hanya karena ketersediaannya yang melimpah dan berkesinambungan, tetapi juga karena menghasilkan dampak lingkungan yang sangat minimal.

Prinsip kerja pembangkit listrik tenaga surya fotovoltaik (PLTS) didasarkan pada pemanfaatan energi cahaya matahari yang dikonversi menjadi energi listrik melalui sel fotovoltaik. Panel surya tersebut umumnya tersusun dari material silikon, baik dalam bentuk monokristalin, polikristalin, maupun bahan lain yang memiliki karakteristik fotovoltaik seperti silikon amorf. Teknologi PLTS menjadi salah satu alternatif utama dalam pengembangan sistem energi terbarukan karena hanya bergantung pada intensitas radiasi matahari dan ketersediaan lahan, sehingga biaya bahan bakar dapat dieliminasi sepenuhnya. Selain itu, sumber energi matahari bersifat bersih, terbarukan, dan ekonomis[5].

Dalam konteks analisis finansial, penggunaan PLTS, terutama yang dipadukan dengan sistem *pumped storage*, memberikan potensi penghematan biaya operasional jangka panjang serta meningkatkan keandalan pasokan energi pada wilayah yang belum terjangkau jaringan listrik konvensional. Oleh karena itu, evaluasi aspek ekonomi seperti investasi awal,

biaya operasi, serta manfaat energi yang dihasilkan menjadi penting untuk menentukan kelayakan finansial sistem PLTS *Off-Grid* berbasis teknologi penyimpanan energi air ini[6].

2.2. Sitem Penyimpanan Energi *Pumped Storage*

Salah satu tantangan utama dalam pemanfaatan energi surya adalah sifatnya yang tidak konstan, bergantung pada intensitas cahaya matahari dan kondisi cuaca. Untuk menjaga kontinuitas pasokan energi listrik, diperlukan sistem penyimpanan energi yang mampu menyeimbangkan fluktuasi produksi dan kebutuhan energi. *Pumped Storage Hydropower* (PSH) merupakan salah satu teknologi penyimpanan energi yang paling efisien dan telah terbukti secara teknis maupun ekonomis dalam skala besar[7].

Sistem pumped storage bekerja dengan cara memompa air dari reservoir bawah ke reservoir atas ketika terjadi surplus energi, misalnya saat produksi listrik dari PLTS melebihi kebutuhan beban. Sebaliknya, ketika energi surya tidak mencukupi (seperti pada malam hari atau kondisi mendung), air dari reservoir atas dialirkan kembali ke reservoir bawah melalui turbin untuk menghasilkan listrik. Mekanisme ini memungkinkan sistem menghasilkan energi secara berkelanjutan dengan memanfaatkan kelebihan daya dari PLTS sebagai sumber energi pengisian (*charging energy*).

Dalam konteks analisis finansial, penerapan teknologi pumped storage pada sistem PLTS *Off-Grid* memberikan keuntungan strategis, terutama dalam hal optimalisasi penggunaan energi yang dihasilkan dan pengurangan kebutuhan kapasitas baterai konvensional yang memiliki umur terbatas dan biaya penggantian tinggi. Walaupun investasi awal sistem *pumped storage* relatif besar, efisiensi siklus energi yang tinggi serta umur operasional yang panjang dapat menurunkan biaya operasional jangka panjang (*operation and maintenance cost*). Oleh karena itu, penilaian kelayakan finansial sistem gabungan PLTS–*Pumped Storage* menjadi penting untuk menentukan apakah investasi ini layak secara ekonomi dibandingkan dengan sistem penyimpanan energi lainnya.

Besar energi selama 24 jam, dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$E = P \times CF \times t \times d \quad (1)$$

Dimana :

- P = Kapasitas nominal generator
- CF = Faktor kapasitas
- t = Waktu pengoprasiannya
- d = Jumlah hari dalam setahun

2.3. Teknik Pengumpulan dan Pengolahan Data

Teknik pengumpulan serta pengelolaan data dalam penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan sistematis guna memastikan bahwa hasil analisis

finansial yang diperoleh dapat mencerminkan kondisi aktual dan memiliki validitas akademik yang kuat.

2.3.1. Studi Literatur

Studi Literatur berfungsi sebagai dasar untuk memperoleh pemahaman teoritis terkait konsep dan prinsip kerja sistem PLTS serta teknologi *pumped storage* sebagai media penyimpanan energi. Melalui kajian pustaka ini, peneliti menelaah teori-teori dasar, metode analisis finansial, serta hasil penelitian terdahulu yang relevan. Sumber referensi diperoleh dari jurnal ilmiah, buku, laporan penelitian, dan dokumen resmi yang kredibel. Tahapan ini bertujuan memperkuat kerangka konseptual penelitian sehingga analisis finansial yang dilakukan memiliki dasar ilmiah dan metodologis yang kuat.

2.3.1. Pengumpulan Data Primer

Pengumpulan Data Primer yang merupakan data utama untuk mendukung analisis kelayakan finansial. Data primer diperoleh melalui wawancara dengan narasumber dan observasi lapangan yang telah dilakukan di daerah Long Melaham, Kalimantan Timur. Informasi yang dikumpulkan meliputi kebutuhan energi listrik aktual masyarakat, pola konsumsi energi harian, serta kondisi geografis yang mempengaruhi perancangan sistem PLTS dan kapasitas reservoir pumped storage. Data primer ini sangat penting karena mencerminkan kebutuhan energi aktual di lapangan, sehingga perhitungan kapasitas dan estimasi beban dapat dilakukan secara lebih akurat.

2.3.3. Pengumpulan data sekunder

Pengumpulan data sekunder yaitu data yang diperoleh dari sumber-sumber literatur dan dokumen resmi yang telah tersedia sebelumnya. Data sekunder mencakup rencana anggaran biaya (RAB) pembangunan sistem PLTS *Off-Grid*, data teknis komponen seperti panel surya, inverter, pompa, turbin, kabel, serta literatur mengenai metode analisis finansial yang relevan. Penggunaan data sekunder bertujuan untuk melengkapi dan memperkuat data primer, sehingga diperoleh gambaran menyeluruh mengenai aspek teknis maupun ekonomi dari sistem yang dianalisis.

2.3.4. Tahapan pengolahan data

Tahapan pengolahan data yang dilakukan dengan menggunakan metode analisis finansial berdasarkan asumsi umur proyek selama 25 tahun. Pada tahap ini dilakukan perhitungan proyeksi arus kas masuk (*cash inflow*) dan arus kas keluar (*cash outflow*) selama masa operasional proyek. Analisis finansial mencakup perhitungan indikator utama seperti *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR), *Benefit-Cost Ratio* (BCR), dan Analisa Kepakaan (*Sensitivity Analysis*) untuk menilai kelayakan investasi. Hasil pengolahan data ini menjadi dasar dalam menentukan apakah proyek pembangunan PLTS *Off-Grid* dengan teknologi *pumped storage* dapat dikategorikan layak

secara finansial dan berpotensi memberikan manfaat ekonomi dalam jangka panjang.

2.4. Data Spesifikasi Komponen Utama

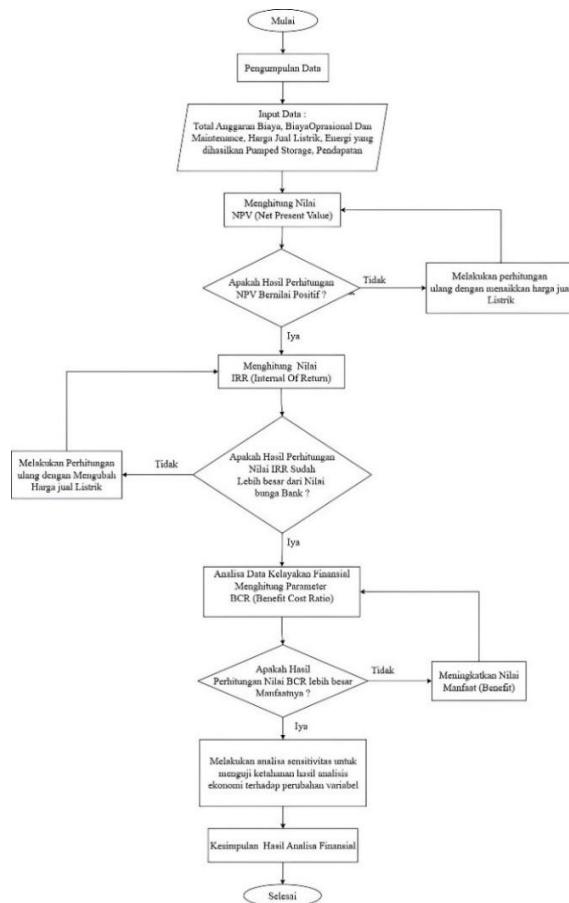
Dalam perancangan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *Off-Grid* dengan teknologi *pumped storage*, diperlukan pemahaman menyeluruh mengenai karakteristik teknis dari setiap komponen utama yang membentuk sistem seperti pada tabel 1. Spesifikasi teknis ini menjadi dasar dalam melakukan perhitungan estimasi energi yang dihasilkan, serta analisis finansial terhadap total biaya investasi dan biaya operasional sistem.

Tabel 1. Spesifikasi Komponen Utama

Komponen	Kapasitas	Jumlah
Panel Surya	750 Wp	12.800 lembar
Inverter	1 MW	12 Unit
Motor Pompa	700 KW	14 Unit
Generator	700 KW	2 Unit

2.5. Analisa Kelayakan Finansial

Untuk menilai kelayakan ekonomi pembangunan PLTS *Off-Grid* dengan teknologi *Pumped Storage* di Mahakam Ulu, dilakukan analisis finansial secara sistematis melalui perhitungan indikator utama seperti NPV, IRR, dan BCR. Analisis sensitivitas juga dilakukan untuk menguji pengaruh perubahan variabel penting seperti tarif listrik, biaya operasional, dan pendapatan. Alur tahapan analisis finansial ditunjukkan pada flowchart berikut.



Gambar 1 Flowchart alur analisa finansial

Indikator Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), dan Benefit-Cost Ratio (BCR) digunakan karena mampu merepresentasikan kelayakan finansial proyek energi dalam jangka panjang. Ketiga indikator tersebut umum digunakan dalam evaluasi investasi pembangkit listrik untuk menilai profitabilitas, tingkat pengembalian modal, dan perbandingan antara manfaat dan biaya proyek.

2.5.1. Net Present Value (NPV)

Untuk menilai kelayakan finansial proyek pembangunan sistem PLTS *Off-Grid* dengan teknologi *pumped storage*, salah satu metode analisis yang digunakan adalah *Net Present Value* (NPV)[8]. Metode ini bertujuan untuk menentukan nilai sekarang dari seluruh arus kas yang akan diterima di masa mendatang dengan mempertimbangkan faktor tingkat diskonto atau suku bunga tertentu. Hasil yang diperoleh dari penerapan metode *Net Present Value* adalah sebagai berikut:

- 1) Jika NPV lebih besar dari 0, proyek dianggap layak untuk dilanjutkan.
- 2) Jika NPV kurang dari 0, maka proyek tersebut dinyatakan tidak layak.

Secara matematis, nilai NPV dapat dinyatakan dengan persamaan (2) berikut:

2.5.2. Internal Rate of Return (IRR)

Internal Rate of Return adalah parameter yang digunakan untuk menentukan tingkat pengembalian investasi yang dihasilkan oleh suatu proyek berdasarkan nilai waktu dari uang (*time value of money*). Nilai IRR menunjukkan tingkat suku bunga di mana nilai Net Present Value (NPV) menjadi nol, atau dengan kata lain, merupakan tingkat diskonto yang menyamakan antara total nilai sekarang dari arus kas masuk dengan total nilai sekarang dari arus kas keluar[9]. Perhitungan dilakukan berdasarkan Persamaan (3) dengan ketentuan sebagai berikut:

- 1) Jika IRR lebih besar dari i , maka proyek dianggap layak.
- 2) Jika IRR kurang dari i , proyek tersebut dinyatakan tidak layak.

$$IRR = i_1 + \frac{NPV_1}{NPV_1 - NPV_2} (i_2 - i_1) \quad (3)$$

2.5.3. Benefit Cost Ratio (BCR)

Benefit-Cost Ratio (BCR) merupakan salah satu metode analisis yang digunakan untuk menilai kelayakan suatu proyek atau investasi dengan membandingkan antara besarnya manfaat ekonomi yang diperoleh dan total biaya yang dikeluarkan selama pelaksanaan kegiatan tersebut. Dalam perhitungannya, simbol B digunakan untuk menyatakan nilai manfaat (*benefit*), sedangkan simbol C merepresentasikan nilai biaya (*cost*) yang dikeluarkan[10]. Nilai rasio BCR dapat ditentukan menggunakan Persamaan (4), dengan kriteria penilaian sebagai berikut:

- 1) Apabila nilai BCR lebih besar dari satu ($BCR > 1$), maka proyek dinyatakan layak secara finansial; sebaliknya,
- 2) apabila nilai BCR kurang dari satu ($BCR < 1$), proyek dianggap tidak layak untuk dilaksanakan.

$$BCR = \frac{|pv[Benefit]|}{|PV[Cost]|} \quad (4)$$

Dengan :

PV Benefit = Present Value of Benefit (Nilai keuntungan saat ini).

PV Cost = Present Value of Cost (Nilai dari biaya saat ini).

2.5.4. Analisa Kepekaan

Analisis sensitivitas dilakukan untuk menilai ketahanan finansial proyek terhadap perubahan parameter ekonomi utama, khususnya variasi biaya investasi dan tarif listrik. Analisis ini bertujuan untuk

mengidentifikasi tingkat risiko ekonomi dan memastikan keberlanjutan finansial proyek dalam

$$NPV = \sum_{t=1}^T \frac{C_t}{(1+r)^t} \cdot C_0 \quad (2)$$

kondisi ketidakpastian.

Analisis kepekaan (*sensitivity analysis*) merupakan salah satu tahapan penting dalam evaluasi kelayakan finansial suatu proyek, yang bertujuan untuk menilai sejauh mana hasil analisis ekonomi akan berubah apabila terjadi variasi atau ketidakpastian terhadap parameter-parameter utama perhitungan, seperti biaya (*cost*) dan manfaat (*benefit*). Melalui analisis ini, dapat diketahui tingkat ketahanan dan risiko finansial proyek terhadap kemungkinan perubahan asumsi dasar yang digunakan dalam perhitungan[11].

Dalam konteks penelitian ini, analisis kepekaan diterapkan untuk menguji dampak perubahan biaya investasi terhadap hasil perhitungan indikator finansial, seperti *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR), dan *Benefit-Cost Ratio* (BCR). Pengujian dilakukan dengan membandingkan kondisi normal (biaya dasar) dengan beberapa skenario peningkatan biaya, misalnya sebesar 2% hingga 5%. Dengan demikian, analisis kepekaan ini berfungsi untuk memberikan gambaran lebih komprehensif mengenai tingkat stabilitas dan kelayakan ekonomi proyek pembangunan PLTS *Off-Grid* dengan teknologi *pumped storage* terhadap fluktuasi biaya atau perubahan kondisi ekonomi yang mungkin terjadi di masa mendatang.

3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini dilaksanakan dengan fokus pada wilayah Batu Dinding, Kabupaten Mahakam Ulu, Provinsi Kalimantan Timur, yang menjadi lokasi rencana pembangunan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *Off-Grid* dengan teknologi *Pumped Storage*. Wilayah Batu Dinding merupakan salah satu daerah terpencil di Kalimantan Timur yang hingga saat ini masih mengandalkan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) sebagai sumber utama penyediaan energi listrik bagi masyarakat. Meskipun PLTD mampu memenuhi kebutuhan energi dasar, sistem ini memiliki beberapa keterbatasan, antara lain tingginya biaya operasional akibat konsumsi bahan bakar fosil, ketergantungan terhadap pasokan solar dari luar daerah, serta tingkat emisi gas buang yang berkontribusi terhadap pencemaran udara dan peningkatan emisi karbon.

Seiring dengan meningkatnya kebutuhan energi yang berkelanjutan dan ramah lingkungan, penerapan sistem PLTS *Off-Grid* dengan teknologi *Pumped Storage* dipandang sebagai solusi alternatif yang efisien dan berkelanjutan untuk menggantikan peran PLTD eksisting. Sistem ini dirancang untuk memiliki

kapasitas yang setara dengan daya keluaran PLTD saat ini yaitu 1.360 kW. sehingga mampu mempertahankan keandalan suplai energi listrik tanpa ketergantungan terhadap bahan bakar fosil. Selain itu, penggunaan *pumped storage* sebagai media penyimpanan energi akan meningkatkan kontinuitas pasokan listrik pada saat radiasi matahari rendah, sehingga sistem dapat beroperasi secara stabil dan berkesinambungan sepanjang waktu.

3.1. Rencana Anggaran Biaya

Rencana Anggaran Biaya (RAB) merupakan dokumen yang memuat perincian estimasi seluruh biaya yang diperlukan dalam pelaksanaan suatu kegiatan atau proyek. Dalam penelitian ini, RAB mencakup biaya investasi awal, biaya operasional dan pemeliharaan, serta biaya yang berkaitan dengan pendapatan dari hasil produksi energi. Proyek ini dirancang dengan umur investasi selama 25 tahun, dan seluruh kebutuhan pendanaannya diasumsikan berasal dari dana hibah pemerintah sebagai bentuk dukungan terhadap pengembangan energi baru terbarukan di daerah terpencil. Dengan demikian, seluruh komponen biaya dihitung berdasarkan periode investasi tersebut dan dikelompokkan ke dalam beberapa bagian utama sebagai berikut:

3.1.1. Biaya Investasi

Perincian Rencana Anggaran Biaya (RAB) disusun untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai total kebutuhan dana yang diperlukan dalam pembangunan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *Off-Grid* dengan teknologi *Pumped Storage* di Desa Batu Dinding, Kabupaten Mahakam Ulu. Estimasi biaya ini mencakup seluruh komponen pengeluaran mulai dari tahap perencanaan, pengadaan peralatan utama dan instalasi sistem. Perhitungan anggaran dilakukan dengan asumsi umur investasi selama 25 tahun, di mana seluruh pembiayaan proyek diasumsikan bersumber dari dana hibah pemerintah sebagai bagian dari upaya mendukung transisi energi bersih di wilayah terpencil. Berdasarkan hasil estimasi, total biaya awal yang diperlukan untuk pembangunan sistem ini adalah sebesar Rp 93,715,779,999.

Secara rinci, komponen biaya tersebut dapat dilihat pada Tabel Rencana Anggaran Biaya (RAB) berikut:

Tabel 2. Rencana Anggaran Biaya

Uraian	Satuan	Volume	Jumlah Harga
Pekerjaan persiapan	Ls	1	Rp.5,449,999,999.00
Pekerjaan Utama	Ls	1	Rp.80,465,780,000.00
Pekerjaan Pendukung	Ls	1	Rp.7,800,000,000.00
Total Anggaran		Rp 93.765.779.999,00	

3.1.2. Biaya Pengoprasian dan Pemeliharaan

Dalam penelitian ini, perhitungan biaya operasional dan pemeliharaan (*operation and maintenance cost*) untuk sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *Off-Grid* dengan teknologi *Pumped Storage* dilakukan dengan asumsi umur proyek selama 25 tahun. Estimasi biaya ini mencakup seluruh kegiatan pemeliharaan rutin, penggantian komponen utama, inspeksi sistem, serta biaya teknis yang diperlukan untuk menjaga kinerja dan keandalan sistem selama masa operasionalnya.

Dalam dimensi ekonomi, biaya operasional dan pemeliharaan diasumsikan sebagai berikut: setiap tahun sebesar Rp 2.121.703.166,00, setiap lima tahun sebesar Rp 2.121.911.696,00, setiap sepuluh tahun sebesar Rp 9.000.000.000,00, dan setiap lima belas tahun sebesar Rp 12.000.000.000,00. Seluruh komponen biaya tersebut diperhitungkan untuk menggambarkan beban ekonomi jangka panjang dari sistem *pumped storage* dalam periode analisis selama 25 tahun.

3.2. Energi *Pumped Storage*

Dalam perancangan sistem PLTS *Off-Grid* dengan teknologi *Pumped Storage* ini, ditetapkan bahwa ketinggian jatuh air efektif (head) yang digunakan adalah sebesar 100 meter, dengan kapasitas generator sebesar 1,4 MW. Sesuai dengan persamaan (1) energi yang dihasilkan *Pumped Storage* yaitu 10.424.400 KWH/tahun.

3.3. Total Biaya pendapatan

untuk mengetahui besarnya nilai manfaat yang dihasilkan dari sistem *Pumped Storage* selama beroperasi. Nilai manfaat dihitung berdasarkan total energi listrik yang mampu dihasilkan setiap tahun, dengan mempertimbangkan faktor kehilangan energi (losses) sebesar 5%.

Selain itu, manfaat ekonomi juga diperoleh dari hasil penjualan energi listrik dengan tarif yang ditetapkan sebesar Rp 1.444 per kWh, serta adanya tambahan penerimaan dari pajak air sebesar Rp 10 per kWh. Dengan demikian, total manfaat tahunan mencerminkan nilai ekonomi bersih yang dapat diterima dari operasi sistem *pumped storage*.

Rincian perhitungan manfaat ekonomi disajikan pada tabel berikut:

Tabel 3. Biaya Pendapatan

Deskripsi	Satuan	Total
Energi Per tahun	KWh	10.424.400
Net Annual Energy (Losses 5%)	KWh	9.903.180
Tarif energi (Rp 1,444/kwh)	-	Rp143.001.919.202,00
Tax of water (Rp 10 / kwh)		Rp.99.031.800,00
Total		Rp.14.201.160.120,00

3.4 Rencana Anggaran Biaya Selama 25 Tahun

Rencana Anggaran Biaya Selama 25 Tahun sebagai umur proyek mengacu pada umur dari Generator. Untuk memudahkan analisis kelayakan finansial, perlu dilakukan perhitungan net cash flow atau arus kas bersih setiap tahun dari tahun ke-0 hingga tahun ke-25, dengan total biaya investasi sebesar Rp. 93.765.779.999,00,- yang ditampilkan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Rencana Anggaran Biaya Selama 25 Tahun

Tahun	Total Cost (Rp)	Pemasukan (Rp)	Net Cash Flow (Rp)
0	93.765.779.999	-	-93.765.779.999
1	2.121.703.166	14.201.160.120	12.079.456.954
2	2.121.703.166	14.201.160.120	12.079.456.954
...
24	2.121.703.166	14.201.160.120	12.079.456.954
25	2.121.703.166	14.201.160.120	12.079.456.954

3.5 Perhitungan Net Present Value (NPV)

Perhitungan NPV berdasarkan data-data Rencana Anggaran Biaya dalam proyek pembangunan PLTS *Off-Grid* dengan teknologi Pumped Storage ini sebagai berikut sesuai dengan Persamaan (2)

$$NPV = \frac{Rp\ 2.121.703.166}{(1+0)^1} + \dots + \frac{Rp\ 2.121.703.166}{(1+0)^{25}} - Rp\ 93.765.779.999$$

$$NPV = Rp.191.513.841.653$$

Perlunya perhitungan NPV ini untuk melihat nilai waktu dari uang, dimana menunjukkan uang yang diperoleh di masa yang akan datang memiliki nilai lebih rendah dibandingkan nilai uang pada saat ini. Maka NPV dianggap lebih akurat dalam penilaian investasi. Maka dari hasil perhitungan nilai NPV lebih dari 0 maka disimpulkan proyek dapat dilanjutkan.

3.6 Perhitungan Internal Rate Of Return (IRR)

Perhitungan IRR dilakukan dengan metode interpolasi, yaitu mencari tingkat suku bunga yang menghasilkan nilai *Net Present Value* (NPV) sama dengan nol. Berdasarkan hasil perhitungan, nilai IRR proyek dapat ditentukan seperti pada persamaan (3):

$$IRR = 0\% + \frac{Rp.191.513.841.653}{Rp.191.513.841.653 - (-Rp\ 28.246.539)} (11,5\% - 0\%)$$

$$IRR = 0.115$$

$$IRR = 11,5\%$$

Nilai IRR sebesar 11,5% yang berarti lebih besar dari suku bunga Investasi awal sebesar 0%. Hal ini berarti proyek layak untuk dilanjutkan.

3.7 Perhitungan Benefit Cost Ratio (BCR)

Hasil rasio dari manfaat dengan biaya proyek dalam 25 tahun rentang waktu pembiayaan pada penelitian ini sebesar Rp. 355.029.003.000,00 , dimana nilai ini menunjukkan pada nilai sekarang dari keuntungan yang dihasilkan dari proyek yang dikerjakan. Sedangkan PV cost sebesar Rp. 163.515.161.347,00, menunjukkan

besar biaya yang perlu dialokasikan untuk proyek dalam periode yang telah ditetapkan. Dari nilai yang sudah diketahui ini selanjutnya dapat dilakukan perhitungan BCR sesuai dengan persamaan (4):

$$BCR = \frac{Rp.\ 355.029.003.000,00}{Rp.\ 163.515.161.347,00} = 2,17$$

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai BCR sebesar 2,17, yang menunjukkan bahwa nilai tersebut lebih besar dari satu. Dengan demikian, proyek ini dapat dikategorikan layak untuk dilaksanakan, karena manfaat ekonomi yang dihasilkan jauh melebihi total biaya investasi yang dikeluarkan.

3.8 Analisa Kepekaan (*Sensitivity Analysis*)

Tujuan dari analisis ini adalah untuk mengetahui stabilitas dan ketahanan nilai parameter finansial utama seperti *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR), dan *Benefit-Cost Ratio* (BCR) terhadap variasi kondisi ekonomi yang mungkin terjadi selama masa operasional proyek. Adapun hasil analisis kepekaan terhadap beberapa skenario perubahan biaya dan tingkat diskonto dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5. Analisa kepekaan

Deskripsi	Penurunan Harga Jual Listrik	
	2%	5%
Cost Increase	2%	5%
NPV	182.538.945.979	169.076.602.504
IRR	10.89%	10%
BCR	2.10	2.01

Berdasarkan tabel hasil analisis kepekaan yang ditunjukkan pada tabel di atas, proyek PLTS *Off-Grid* dengan sistem pumped storage tetap menunjukkan tingkat kelayakan yang baik meskipun terjadi peningkatan biaya investasi hingga 2–5% dengan variasi penurunan harga jual listrik 2% dan 5%. Nilai NPV masih bernilai positif, yaitu antara Rp 182.538.945.979 hingga Rp 169.076.602.504, yang menandakan bahwa manfaat proyek tetap melebihi total biaya investasi. Selain itu, nilai IRR berkisar antara 10,89% hingga 10%, yang masih berada di atas tingkat diskonto, sehingga proyek tetap memberikan tingkat pengembalian yang menguntungkan. Nilai BCR yang berada pada rentang 2,10 hingga 2,01 juga memperkuat kesimpulan bahwa proyek ini layak untuk dilaksanakan, karena rasio manfaat terhadap biaya lebih besar dari satu pada seluruh skenario yang diuji.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, penelitian ini menunjukkan bahwa pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *Off-Grid* dengan sistem penyimpanan energi Pumped Storage di Batu Dinding, Kecamatan Long Bagun, Kabupaten Mahakam Ulu secara finansial dinilai layak untuk direalisasikan. Daerah tersebut saat ini masih

mengandalkan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) dengan kapasitas sekitar 1,4 MW, yang selain memiliki biaya operasional tinggi, juga menghasilkan emisi karbon yang signifikan. Oleh karena itu, penerapan sistem pumped storage sebagai pengganti PLTD menjadi solusi strategis untuk menciptakan sistem kelistrikan yang lebih efisien, ramah lingkungan, dan berkelanjutan.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa dengan ketinggian (head) 100 meter dan kapasitas generator 1,4 MW, sistem *pumped storage* mampu menghasilkan energi bersih sekitar 10.424.400 kWh per tahun dengan nilai manfaat ekonomi sebesar Rp 14.201.160.120,00 per tahun. Dari sisi investasi, total Rencana Anggaran Biaya (RAB) proyek ini sebesar Rp 93.765.779.999,00, yang diasumsikan bersumber dari dana hibah pemerintah. Biaya operasional dan pemeliharaan diproyeksikan selama 25 tahun umur proyek, dengan nilai tahunan dan periodik yang disesuaikan untuk menjaga keberlanjutan sistem.

Hasil analisis kelayakan finansial menunjukkan bahwa nilai *Net Present Value* (NPV) bernilai positif sebesar Rp.191.513.841.653, *Internal Rate of Return* (IRR) sebesar 11,5%, dan *Benefit-Cost Ratio* (BCR) sebesar 2,17, yang semuanya mengindikasikan bahwa proyek ini menguntungkan secara ekonomi. Nilai BCR yang lebih besar dari satu menandakan bahwa manfaat ekonomi yang dihasilkan jauh lebih besar dibandingkan total biaya investasi yang dikeluarkan.

Lebih lanjut, hasil analisis kepekaan (*sensitivity analysis*) dengan variasi penurunan harga jual listrik 2%–5% dan peningkatan biaya hingga 5% menunjukkan bahwa proyek tetap berada pada kondisi feasible, dengan NPV tetap positif, IRR di atas tingkat diskonto, dan BCR tetap lebih besar dari satu. Hal ini membuktikan bahwa proyek ini memiliki ketahanan finansial yang baik terhadap perubahan variabel ekonomi yang mungkin terjadi selama masa pelaksanaan dan operasional.

Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa pembangunan PLTS *Off-Grid* dengan sistem penyimpanan energi *Pumped Storage* di Mahakam Ulu merupakan investasi yang layak, berkelanjutan, dan ramah lingkungan, serta berpotensi besar dalam mendukung transisi energi bersih dan pengurangan emisi karbon di wilayah pedalaman Kalimantan Timur.

Daftar Rujukan

- [1] A. Priyohutomo, D. Candra Riawan, and S. Soedibyo, 2021 Studi Kelayakan Water Pumped Energy Storage Sebagai Penyimpanan Energi PLTS Mandiri Pada Daerah Terisolir, *J. FORTECH*, vol. 2, no. 1, pp. 9–18, 2021, doi: 10.32492/fortech.v2i1.234.
- [2] E. Tarigan, 2025 Role of Solar Photovoltaic Energy in GHG Emission Reduction within Indonesia's Long-Term Strategy for Low Carbon and Climate Resilience 2050, *Int. J. Energy Econ. Policy*, vol. 15, no. 2, pp. 421–428, 2025, doi: 10.32479/ijep.18352.
- [3] M. Wibowo, A. Septian, J. Juhana, and O. Abdul Rojak, 2025 Analisis Teknis dan Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Off-Grid pada Kios Coffee, *J. Impresi Indones.*, vol. 4, no. 7, pp. 2400–2419, 2025, doi: 10.58344/jii.v4i7.6841.
- [4] M. R. Saputra and B. Syairuddin, 2024 Financial Feasibility Analysis of Cilampuyang Hydropower Plant Project (2X15 MW), *J. Teknobisnis*, vol. 9, no. 1, pp. 103–113, 2024, doi: 10.12962/j24609463.v9i1.939.
- [5] D. F. Silalahi, A. Blakers, B. Lu, and C. Cheng, 2022 Indonesia's Vast Off-River Pumped Hydro Energy Storage Potential, *Energies*, vol. 15, no. 9, 2022, doi: 10.3390/en15093457.
- [6] B. Hammad, S. Al-Dahidi, Y. Aldahouk, D. Majrouh, and S. Al-Remawi, 2024 Technical, Economic, and Environmental Investigation of Pumped Hydroelectric Energy Storage Integrated with Photovoltaic Systems in Jordan, *Sustain.*, vol. 16, no. 4, 2024, doi: 10.3390/su16041357.
- [7] A. Blakers, M. Stocks, B. Lu, and C. Cheng, 2021 , Tinjauan tentang penyimpanan energi hidro yang dipompa, *Prog. Energy*, vol. 3, no. 2, 2021, doi: 10.1088/2516-1083/abeb5b.
- [8] K. Hawari, P. N. Chin, and A. D. Prasetyo, 2021 Financial and Economic Viability of Pumped Storage to Strengthen the VRE Development in Indonesia, ... *Chairmansh. 2023 (TAC 23 ...*, vol. 198, pp. 179–184, 2021, [Online]. Available: <https://www.atlantis-press.com/proceedings/t-a-c-23-21/125965507>
- [9] S. Singh, M. Alharthi, A. Anand, A. Shukla, A. Sharma, and H. Panchal, 2022, Performance evaluation and financial viability analysis of grid associated 10 MWp solar photovoltaic power plant at UP India, *Sci. Rep.*, vol. 12, no. 1, pp. 1–18, 2022, doi: 10.1038/s41598-022-26817-4.
- [10] O. Sensa Ritzky Cinicy, J. Windarta, and S. Saptadi, 2023, Economic Feasibility Study of Rooftop Solar Power Plant 32 kWp in PT KPJB Office Building, PLTU Tanjung Jati B, Kabupaten Jepara, *J. Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 4, no. 2, pp. 97–107, 2023, doi: 10.14710/jebt.2023.17574.
- [11] C. Feng, Q. Guo, Q. Liu, and F. Jian, 2025, An Optimized Dynamic Benefit Evaluation Method for Pumped Storage Projects in the Context of the 'Dual Carbon' Goal, *Energies*, vol. 18, no. 11, pp. 1–26, 2025, doi: 10.3390/en18112815.

