

ANALISIS KELAYAKAN PROYEK PEMBANGUNAN PLTM WALESI CASCADE SECARA NILAI EKONOMI KETENAGALISTRIKAN DAN POTENSI KREDIT KARBON

Fahmi Hardianto ^{a)}, Ahsin Sidqi ^{b)}

^{a)} Institut teknologi PLN, DKI Jakarta, Indonesia

^{*}) e-mail korespondensi: Fahmi2310558@itpln.ac.id

Article history: received 01 December 2025; revised 12 December 2025; accepted 04 Januari 2026 DOI : <https://doi.org/10.33751/jmp.v14i1.13185>

Abstrak. Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) Walesi Cascade di Kabupaten Jayawijaya, Provinsi Papua, merupakan salah satu langkah strategis dalam mendukung agenda transisi energi Indonesia menuju target Net Zero Emission (NZE) 2060. Sebagai bagian dari bauran energi terbarukan, PLTM memiliki potensi signifikan untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil, meningkatkan ketahanan energi daerah, serta menekan emisi karbon dari sektor ketenagalistrikan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kelayakan ekonomi dan potensi perdagangan karbon dari pembangunan PLTM Walesi Cascade, sekaligus menilai kontribusinya terhadap penyediaan energi bersih dan mitigasi perubahan iklim. Analisis keekonomian dilakukan menggunakan beberapa indikator utama. Levelized Cost of Energy (LCOE) digunakan untuk menilai biaya produksi listrik secara keseluruhan dan menunjukkan tingkat efisiensi biaya yang kompetitif. Hasil analisis finansial menunjukkan bahwa proyek memiliki Net Present Value (NPV) positif, menandakan bahwa nilai manfaat proyek melebihi biaya investasinya. Internal Rate of Return (IRR) yang berada pada tingkat tinggi mencerminkan bahwa investasi ini memberikan pengembalian yang menarik. Selain itu, Break-Even Point (BEP) diperkirakan tercapai dalam kurun waktu sekitar 8,9 tahun, dan Benefit-Cost Ratio (BCR) yang lebih besar dari 1 mengindikasikan bahwa manfaat ekonomi proyek jauh lebih besar dibandingkan total biaya yang dikeluarkan. Rate of Return (RoR) yang menguntungkan juga memperkuat prospek keberlanjutan finansial proyek ini. Di sisi lingkungan, penelitian ini mengidentifikasi peluang pemanfaatan skema perdagangan karbon melalui Voluntary Carbon Market (VCM). Potensi kredit karbon dari pengurangan emisi PLTM Walesi Cascade berperan penting dalam mendukung percepatan transisi energi bersih yang berkelanjutan di Indonesia.

Kata Kunci: LCOE, NZE, PLTM, VCM

FEASIBILITY ANALYSIS OF THE WALESI CASCADE MINI-HYDROPOWER DEVELOPMENT PROJECT IN TERMS OF POWER SECTOR ECONOMIC VALUE AND CARBON CREDIT POTENTIAL

Abstract The development of the Walesi Cascade Mini Hydropower Plant (PLTM) in Jayawijaya Regency, Papua Province, represents a strategic initiative in supporting Indonesia's energy transition agenda toward achieving the Net Zero Emission (NZE) 2060 target. As part of the renewable energy mix, mini hydropower has significant potential to reduce dependence on fossil fuels, enhance regional energy resilience, and lower carbon emissions in the electricity sector. This study aims to evaluate the economic feasibility and carbon trading potential of the Walesi Cascade PLTM, while assessing its contribution to clean energy provision and climate change mitigation. The economic analysis utilizes several key indicators. The Levelized Cost of Energy (LCOE) is used to assess total electricity generation costs and demonstrates competitive cost efficiency. The financial analysis shows a positive Net Present Value (NPV), indicating that the project's benefits outweigh its investment costs. The high Internal Rate of Return (IRR) reflects an attractive investment return. Additionally, the Break-Even Point (BEP) is estimated to be achieved in approximately 8.9 years, and the Benefit-Cost Ratio (BCR) greater than 1 signifies that the economic benefits substantially exceed total expenditures. A favorable Rate of Return (RoR) further strengthens the long-term financial sustainability of the project. From an environmental perspective, this study identifies opportunities for carbon trading through the Voluntary Carbon Market (VCM). The potential generation of carbon credits from emission reductions in the Walesi Cascade PLTM plays an important role in accelerating Indonesia's transition toward sustainable clean energy.

Keywords: LCOE, NaZE, PLTM, VCM

I. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki potensi energi baru terbarukan (EBT) yang sangat besar dan beraagam, terutama pada sektor energi air yang tersebar di berbagai wilayah, termasuk kawasan tertinggal, terdepan, dan terluar (3T). Namun demikian, pemanfaatan

potensi EBT hingga saat ini masih belum optimal dalam mendukung suplai energi nasional. Ketergantungan yang dominan terhadap energi fosil menyebabkan biaya penyediaan listrik relatif tinggi di wilayah terpencil dan berkontribusi besar terhadap emisi gas rumah kaca (GRK). Sejalan dengan kebijakan pemerintah dalam mendorong diversifikasi energi dan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, pemanfaatan tenaga air melalui pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTM) menjadi salah satu solusi strategis untuk meningkatkan akses energi bersih, terjangkau, dan berkelanjutan. PLTM khususnya menjadi sangat relevan bagi daerah 3T karena dapat dibangun dengan skala menengah–kecil, memanfaatkan potensi lokal, serta memiliki dampak sosial dan lingkungan yang relatif rendah.

Salah satu potensi yang diidentifikasi untuk dikembangkan adalah PLTM Walesi Cascade di Kabupaten Jayawijaya, Provinsi Papua. Berdasarkan Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PLN Tahun 2021–2030, proyek ini menjadi salah satu yang direncanakan untuk dikembangkan melalui model bisnis Engineering, Procurement, and Construction (EPC), dengan memanfaatkan aliran Sungai Wioma (Walesi). Posisi PLTM yang berada di hilir dari PLTM Walesi Blok 2 memberikan keunggulan strategis karena aliran air yang sudah dimanfaatkan di bagian hulu dapat digunakan kembali untuk menghasilkan energi tambahan. Konsep pembangunan secara *cascade* ini menjadikan biaya lingkungan, risiko sosial, serta kebutuhan lahan lebih kecil dibandingkan pembangunan pembangkit baru di lokasi berbeda. Pengembangan PLTM Walesi Cascade diharapkan mampu meningkatkan keandalan listrik di Papua, khususnya di Jayawijaya, serta menambah kontribusi bauran energi terbarukan nasional.

Selain perannya sebagai penyedia energi, PLTM memiliki kontribusi penting secara lingkungan melalui pengurangan emisi karbon di sektor ketenagalistrikan. Pemerintah Indonesia melalui dokumen Long-Term Strategy for Low Carbon and Climate Resilience (LTS–LCCR) telah menetapkan komitmen untuk mencapai Net Zero Emission (NZE) pada tahun 2060 atau lebih cepat. Untuk mencapai target tersebut, sektor energi memegang peranan penting menentukan karena merupakan penyumbang emisi terbesar di Indonesia. Oleh karena itu, percepatan pemanfaatan energi terbarukan, termasuk melalui pembangunan PLTM, menjadi bagian penting dalam strategi mitigasi perubahan iklim nasional.

Di sisi lain, perkembangan kebijakan global terkait perdagangan karbon membuka peluang baru bagi proyek energi terbarukan untuk menghasilkan nilai ekonomi tambahan. Mekanisme perdagangan karbon, baik melalui skema compliance market maupun voluntary carbon market (VCM), memungkinkan proyek yang berhasil mengurangi emisi GRK untuk memperoleh kredit karbon yang dapat diperjualbelikan. PLTM sebagai pembangkit non-emisi memiliki potensi tinggi dalam menghasilkan kredit karbon berdasarkan pengurangan emisi yang dihitung dari offset penggunaan listrik berbasis energi fosil. Dengan demikian, proyek PLTM Walesi Cascade bukan hanya memberikan manfaat teknis dan ekonomi melalui penyediaan energi, tetapi juga berpotensi menghasilkan pendapatan tambahan dari perdagangan kredit karbon.

Analisis kelayakan ekonomi menjadi elemen penting dalam memastikan bahwa proyek PLTM Walesi Cascade layak untuk direalisasikan. Kelayakan tersebut dapat dinilai melalui berbagai indikator finansial, seperti Levelized Cost of Electricity (LCOE), yang digunakan untuk mengukur biaya produksi listrik selama umur proyek secara menyeluruh. Selain itu, indikator seperti Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), Benefit-Cost Ratio (BCR), Break-Even Point (BEP), dan Rate of Return (RoR) digunakan untuk mengevaluasi manfaat ekonomi, efisiensi investasi, dan potensi keuntungan jangka panjang dari proyek tersebut. Dengan memasukkan potensi pendapatan dari kredit karbon ke dalam analisis finansial, hasil analisis akan memberikan gambaran yang lebih holistik mengenai daya saing ekonominya dalam konteks transisi energi.

Di tengah meningkatnya kebutuhan listrik di Papua, pembangunan PLTM Walesi Cascade menjadi proyek yang sangat relevan karena dapat menyediakan pasokan energi yang stabil sekaligus mengurangi beban operasional PLN yang selama ini masih bergantung pada pembangkit berbahan bakar minyak (BBM). Harga listrik berbasis BBM yang tinggi menyebabkan meningkatnya biaya pokok penyediaan (BPP) listrik, khususnya di wilayah yang tidak terhubung jaringan interkoneksi nasional. Dengan hadirnya PLTM, PLN berpotensi mengurangi biaya operasional secara signifikan dalam jangka panjang.

Penelitian ini memiliki kebaruan (novelty) dengan mengintegrasikan analisis kelayakan ekonomi PLTM dengan perhitungan potensi kredit karbon secara bersamaan. Pendekatan komprehensif ini jarang digunakan dalam studi kelayakan proyek PLTM di Indonesia, khususnya proyek yang berlokasi di wilayah 3T. Dengan mempertimbangkan dua aspek secara paralel — keekonomian dan nilai lingkungan — penelitian ini memberikan perspektif baru bagi PLN dan pemangku kepentingan lainnya untuk membuat keputusan investasi yang lebih strategis dalam mendukung pencapaian target NZE 2060. Pendekatan ini tidak hanya menilai seberapa besar keuntungan finansial proyek, tetapi juga berapa besar nilai tambah dari penurunan emisi karbon yang dapat dimonetisasi melalui perdagangan karbon.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini memusatkan perhatian pada tiga aspek utama, yaitu bagaimana menentukan kelayakan investasi PLTM Walesi Cascade dari perspektif PLN melalui indikator ekonomi ketenagalistrikan; bagaimana potensi pengurangan emisi karbon yang dihasilkan proyek PLTM; dan sejauh mana peluang pendapatan tambahan dari kredit karbon dapat memberikan kontribusi terhadap kelayakan finansial proyek. Dengan merumuskan pertanyaan penelitian tersebut, tujuan penelitian ini adalah menghasilkan analisis mendalam mengenai kelayakan finansial proyek menggunakan metode LCOE, NPV, IRR, BEP, BCR, dan RoR, menghitung potensi pengurangan emisi karbon dalam mendukung target NZE, serta mengestimasi potensi pendapatan kredit karbon melalui mekanisme pasar karbon.

Hasil penelitian ini diharapkan memberikan manfaat yang signifikan, baik bagi PLN selaku pengembang proyek maupun bagi pemerintah daerah dalam merumuskan kebijakan energi berkelanjutan. Temuan penelitian ini juga dapat digunakan sebagai referensi bagi investor dan pemangku kepentingan di sektor energi terbarukan dalam menentukan strategi investasi yang tepat.

Dengan memberikan gambaran komprehensif mengenai nilai ekonomi dan lingkungan dari PLTM Walesi Cascade, penelitian ini berpotensi mendorong percepatan pembangunan energi terbarukan di wilayah yang selama ini belum banyak terjangkau listrik.

Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam pengembangan ilmu ketenagalistrikan dan kebijakan energi dengan menampilkan model analisis teknis dan ekonomi yang holistik, serta menawarkan pendekatan baru dalam menghitung nilai tambah sebuah proyek energi terbarukan melalui skema perdagangan karbon. Hal ini sejalan dengan arah pembangunan energi nasional yang menekankan pada keberlanjutan, efisiensi, dan upaya mitigasi perubahan iklim.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode analisis kelayakan ekonomi dan dampak lingkungan untuk mengevaluasi proyek PLTM Walesi Cascade di Kabupaten Jayawijaya, Provinsi Papua. Data yang digunakan terdiri dari data primer yang diperoleh melalui wawancara dengan pihak terkait dan data sekunder dari literatur serta laporan teknis. Analisis kelayakan ekonomi dilakukan menggunakan metode Levelized Cost of Electricity (LCOE), Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), Benefit-Cost Ratio (BCR), Break Even Point (BEP), dan Rate of Return (RoR). Selain itu, penelitian ini juga menghitung pengurangan emisi karbon yang dihasilkan oleh proyek PLTM dan potensi pendapatan tambahan melalui skema perdagangan karbon (carbon trading). Analisis ini bertujuan untuk menilai kelayakan investasi proyek serta kontribusinya terhadap pencapaian Net Zero Emission (NZE) 2060 di Indonesia, dengan fokus pada aspek keuangan dan lingkungan dari pembangunan PLTM tersebut.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Levelized Cost of Energy (LCOE) adalah ukuran yang digunakan untuk menentukan biaya rata-rata per unit energi yang dihasilkan selama umur proyek. LCOE mencakup seluruh biaya yang terlibat dalam pembangunan dan pengoperasian PLTM, termasuk biaya investasi awal (CAPEX), biaya operasional dan pemeliharaan tahunan (OPEX), serta biaya terkait lainnya seperti asuransi. Hasil analisis LCOE menunjukkan bahwa proyek PLTM Walesi Cascade memiliki kelayakan ekonomi yang baik. Dengan strategi investasi yang tepat, proyek ini dapat menjadi salah satu model sukses dalam pengembangan energi terbarukan di Indonesia yang memberikan dampak positif dalam mendukung program Net Zero Emission (NZE) yang dicanangkan oleh pemerintah.

LCOE PLTMH WALESI CASCADE 6 x 950kW					
Input					
Generation	MWh/year	37.346,40		Jam	year
PLTMH Capacity	MW	5,70		24	364
PLTMH Cost - Capital Expenditure (CAPEX)	USD/kW	3.061,32			
PLTMH O&M - Operation Expenditure (OPEX)	USD/kW/year	51,97			
Lend Facility	%/year	6,75%			
Land Lease	USD/year	0,00			
Periode of Analysis	Years	40			
Discount Rate	%	9,24%			
Calculation					
Periods					
Total Generation	MWh	37.346,40	Actual	NPV	\$392.397,37
CAPEX	USD	17.449.504,01			\$17.449.504,01
PLTMH OPEX	USD	296.208,48			\$3.112.252,56
Fuel Cost	USD	0,36			\$3,75
Insurance	USD	1.177.841,52			\$12.375.541,40
Land Lease	USD	0,00			\$0,00
Total OPEX	USD	1.474.050,36			\$15.487.797,71
LCOE	USD/MWh	83,94			\$0,08 USD/kWh Rp1.366 Rp/kWh \$8,39 USD@/kWh
Set up	Thousands	1.000,00			

Gambar 1. Perhitungan LCOE pada Ms. Excel

Hasil perhitungan **Levelized Cost of Energy (LCOE)** untuk proyek PLTM Walesi Cascade menunjukkan nilai **0,0839 USD/kWh** atau **8,39 USD¢/kWh**, yang menempatkan biaya produksi energi proyek ini dalam kisaran kompetitif dibandingkan dengan pembangkit listrik berbahan bakar fosil, yang sering memiliki biaya lebih tinggi akibat fluktuasi harga bahan bakar. LCOE yang rendah ini memungkinkan proyek untuk menawarkan harga listrik yang lebih terjangkau, menarik bagi investor dan mendukung **Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs)** dengan menyediakan energi bersih dan terjangkau. Selain itu, biaya produksi yang rendah mempercepat pencapaian **break-even point**, memastikan profitabilitas yang lebih cepat dan meningkatkan

daya tarik proyek. Dengan tidak bergantung pada bahan bakar fosil, proyek ini juga mengurangi ketergantungan pada pasokan energi luar dan volatilitas harga energi, menjadikannya solusi yang stabil dan berkelanjutan dalam konteks transisi energi bersih menuju **Net Zero Emission (NZE)** 2060 di Indonesia.

Hasil penelitian mengenai kelayakan proyek PLTM Walesi Cascade menunjukkan bahwa proyek ini memiliki potensi finansial dan lingkungan yang signifikan.

a. Total Investasi (CAPEX)

Biaya investasi awal untuk membangun PLTM Walesi Cascade dihitung sebesar 17.449.504 USD, yang mencakup pengadaan, pemasangan, dan pembangunan infrastruktur pembangkit listrik. Perhitungan ini menggunakan kapasitas terpasang 5,7 MW dengan biaya investasi per kW sebesar 3.061,32 USD/kW.

TABEL 1. TOTAL INVESTASI (CAPEX)

Komponen	Biaya (USD)
Total CAPEX	17.449.504,01

b. Biaya Operasional dan Pemeliharaan (O&M)

Total biaya O&M tahunan untuk PLTM Walesi Cascade dihitung sebesar 296.208 USD per tahun. Biaya ini mencakup biaya tetap dan variabel yang diperlukan untuk mempertahankan operasional pembangkit selama satu tahun.

TABEL 2. BIAYA OPERASIONAL DAN PEMELIHARAAN (O&M)

Komponen	Biaya (USD)
Biaya O&M tahunan	296.208,48

c. Total Energi yang Dihasilkan per Tahun

PLTM Walesi Cascade dapat menghasilkan 37.346,40 MWh per tahun, dengan kapasitas terpasang 5,7 MW dan capacity factor 0,75.

TABEL 3. TOTAL ENERGI YANG DIHASILKAN PER TAHUN

Komponen	Energi (MWh)
Energi tahunan	37.346,40

d. Potensi Kredit Karbon

Proyek ini memiliki potensi untuk menghindari 33.611,76 ton CO₂ per tahun, yang dapat diperdagangkan di pasar karbon untuk menghasilkan pendapatan tambahan sekitar 1.008.352 USD per tahun.

TABEL 4. POTENSI KREDIT KARBON

Komponen	Nilai (ton CO ₂)
Emisi yang Dihindari	33.611,76

Hasil perhitungan Net Present Value (NPV) proyek PLTM Walesi Cascade menunjukkan angka positif sebesar 1.729.583 USD, yang mengindikasikan bahwa proyek ini layak secara finansial. NPV adalah selisih antara nilai sekarang dari semua arus kas yang dihasilkan oleh proyek dengan biaya investasi awal (CAPEX). Karena nilai NPV yang positif, proyek ini diharapkan dapat menghasilkan pendapatan yang melebihi biaya yang dikeluarkan, memberikan keuntungan bersih bagi investor. NPV yang positif juga menunjukkan bahwa proyek ini akan mengembalikan investasi awal dan menghasilkan keuntungan tambahan selama masa operasionalnya. Hal ini sesuai dengan harapan dalam pendahuluan tentang kelayakan finansial proyek dalam konteks pengembalian investasi yang optimal dan waktu yang lebih cepat untuk mencapai titik impas.

Internal Rate of Return (IRR) proyek PLTM Walesi Cascade tercatat sebesar 11,04%, yang lebih tinggi dibandingkan dengan tingkat diskonto yang digunakan (9,24%). IRR adalah tingkat pengembalian yang membuat nilai bersih sekarang (NPV) proyek sama dengan nol. Dengan IRR yang lebih tinggi dari tingkat diskonto, proyek ini menunjukkan bahwa tingkat pengembalian investasi lebih besar daripada biaya modal yang dikeluarkan. IRR yang lebih tinggi ini menunjukkan bahwa proyek ini dapat memberikan pengembalian yang menarik bagi investor, bahkan setelah mempertimbangkan faktor risiko. Hal ini memperkuat hipotesis yang ada bahwa proyek PLTM Walesi Cascade dapat memberikan pengembalian yang kompetitif dalam jangka panjang.

Hasil perhitungan Break-Even Point (BEP) menunjukkan bahwa proyek ini akan mencapai titik impas setelah 8,91 tahun beroperasi. BEP adalah periode di mana total pendapatan yang dihasilkan oleh proyek sama dengan total biaya yang dikeluarkan (investasi awal dan biaya operasional tahunan). Dalam konteks ini, BEP yang tercapai dalam waktu yang relatif cepat menunjukkan bahwa proyek PLTM Walesi Cascade dapat mengembalikan modal dalam waktu yang wajar. Hal ini penting bagi

investor yang mencari proyek dengan waktu pengembalian yang cepat. BEP yang lebih cepat juga mengindikasikan pengurangan risiko investasi, karena semakin cepat modal kembali, semakin rendah risiko yang dihadapi proyek.

Benefit-Cost Ratio (BCR) proyek PLTM Walesi Cascade dihitung sebesar 4,48, yang menunjukkan bahwa manfaat yang dihasilkan dari proyek ini lebih besar hampir 4,5 kali dibandingkan dengan biaya yang dikeluarkan. BCR lebih besar dari 1 menunjukkan bahwa proyek ini memberikan nilai tambah ekonomi yang signifikan dan lebih besar daripada biaya investasi yang dikeluarkan. Dengan BCR yang tinggi, proyek ini memberikan indikasi bahwa investasi pada PLTM Walesi Cascade akan menghasilkan keuntungan yang signifikan bagi investor dan pemangku kepentingan lainnya, baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang. Dalam hal ini, proyek PLTM Walesi Cascade tidak hanya menguntungkan secara finansial tetapi juga memberikan kontribusi terhadap keberlanjutan energi bersih.

Rate of Return (RoR) proyek PLTM Walesi Cascade sebesar 448% menunjukkan tingkat pengembalian yang sangat tinggi dibandingkan dengan biaya investasi awal. RoR adalah indikator yang digunakan untuk mengukur seberapa besar pengembalian yang dihasilkan dari investasi yang telah dilakukan. Dengan RoR yang sangat tinggi, proyek ini menunjukkan potensi keuntungan yang luar biasa, memberikan nilai lebih bagi investor. Angka RoR yang tinggi ini menunjukkan bahwa investasi pada PLTM Walesi Cascade dapat menghasilkan keuntungan yang signifikan, jauh melampaui biaya modal yang dikeluarkan untuk memulai proyek. Dibandingkan dengan proyek energi terbarukan lainnya, angka RoR yang tinggi ini menunjukkan daya tarik yang kuat bagi investor yang mencari pengembalian tinggi dari proyek energi bersih.

Hasil penelitian ini memberikan gambaran bahwa proyek PLTM Walesi Cascade memiliki kelayakan ekonomi dan dampak positif terhadap lingkungan. Dengan Levelized Cost of Energy (LCOE) sebesar 8,39 USD ¢/kWh, proyek ini menunjukkan daya saing yang baik, lebih rendah daripada banyak sumber energi fosil yang mengandalkan bahan bakar yang fluktuatif. Hasil ini mendukung pertanyaan yang diajukan dalam pendahuluan tentang efisiensi biaya energi terbarukan di Indonesia, di mana proyek ini dapat memberikan solusi yang lebih ekonomis dalam jangka panjang.

Dari sisi keuangan, perhitungan Net Present Value (NPV) yang positif sebesar 1.729.583 USD menunjukkan bahwa proyek ini akan menguntungkan secara finansial, dengan pengembalian yang lebih besar dari biaya investasi awal. Ini mengonfirmasi bahwa investasi dalam PLTM Walesi Cascade berpotensi memberikan nilai tambah signifikan. Sementara itu, Internal Rate of Return (IRR) sebesar 11,04% yang lebih tinggi dari tingkat diskonto (9,24%) memperkuat kelayakan proyek ini sebagai pilihan investasi yang menguntungkan.

Potensi pengurangan emisi karbon yang signifikan sebesar 33.611,76 ton CO₂ per tahun juga menunjukkan kontribusi proyek terhadap pengurangan emisi gas rumah kaca dan pencapaian target Net Zero Emission (NZE) 2060 di Indonesia. Kredit karbon yang dapat diperdagangkan di pasarkarbon (VCM) memberikan tambahan nilai ekonomi yang penting bagi pengembangan dan investor, menjadikannya bagian integral dari evaluasi keberlanjutan proyek.

IV. SIMPULAN

Kesimpulan Proyek PLTM Walesi Cascade menunjukkan kelayakan yang kuat baik dari sisi finansial maupun lingkungan. Dengan Levelized Cost of Energy (LCOE) sebesar 8,39 USD ¢/kWh, proyek ini menawarkan biaya produksi listrik yang kompetitif dibandingkan dengan energi konvensional, menjadikannya pilihan yang efisien dalam jangka panjang. Net Present Value (NPV) yang positif sebesar 1.729.583 USD dan Internal Rate of Return (IRR) sebesar 11,04% menunjukkan bahwa proyek ini dapat memberikan pengembalian investasi yang lebih tinggi daripada tingkat diskonto yang digunakan. Break-Even Point (BEP) yang tercapai dalam waktu 8,91 tahun mengindikasikan bahwa proyek ini dapat mengembalikan investasi awal dalam waktu yang relatif cepat, sementara Benefit-Cost Ratio (BCR) sebesar 4,48 menunjukkan bahwa manfaat yang dihasilkan jauh lebih besar dibandingkan dengan biaya yang dikeluarkan. Rate of Return (RoR) yang sangat tinggi sebesar 448% memperkuat potensi keuntungan yang luar biasa dari proyek ini. Di sisi lingkungan, proyek ini memiliki potensi untuk menghindari 33.611,76 ton CO₂ per tahun dan menghasilkan pendapatan tambahan dari carbon trading yang dapat mendukung keberlanjutan finansial proyek. Oleh karena itu, disarankan agar proyek ini melanjutkan investasi dalam pengembangan infrastruktur dan teknologi yang dapat meningkatkan efisiensi operasional, melakukan pemantauan rutin terhadap dampak lingkungan untuk mendukung pencapaian target Net Zero Emission (NZE) 2060, serta memperluas kolaborasi dengan pihak-pihak terkait, baik pemerintah, lembaga keuangan, maupun sektor swasta. Selain itu, evaluasi terhadap proyek serupa di wilayah 3T sangat dianjurkan untuk mendiversifikasi sumber energi terbarukan di Indonesia. Dengan pendekatan komprehensif dalam perencanaan keuangan, proyek ini dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap keberlanjutan energi bersih dan ekonomi di masa depan.

V. REFERENSI

- A. Taufiqurrahman and J. Windarta, "Overview Potensi dan Perkembangan Pemanfaatan Energi Air di Indonesia," *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 1, no. 3, 2020, doi: 10.14710/jebt.2020.10036.

F. Mandasari, S. Marsudi, and Moh. Sholichin, "Studi Manajemen Pelaksanaan Konstruksi Bendung Pltm Prafi Kecamatan Warmare Kabupaten Manokwari Provinsi Papua Barat dengan Menggunakan Microsoft Project Manager 2013," *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air*, vol. 3, no. 1, 2023, doi: 10.21776/ub.jtresda.2023.003.01.08.

F. Mandasari, S. Marsudi, and Moh. Sholichin, "Studi Manajemen Pelaksanaan Konstruksi Bendung Pltm Prafi Kecamatan Warmare Kabupaten Manokwari Provinsi Papua Barat dengan Menggunakan Microsoft Project Manager 2013," *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air*, vol. 3, no. 1, 2023, doi: 10.21776/ub.jtresda.2022.003.01.08.

B. A. Pratama, M. A. Ramadhani, P. M. Lubis, and A. Firmansyah, "Implementasi Pajak Karbon Di Indonesia: Potensi Penerimaan Negara Dan Penurunan Jumlah Emisi Karbon," *JURNAL PAJAK INDONESIA (Indonesian Tax Review)*, vol. 6, no. 2, 2022, doi: 10.31092/jpi.v6i2.1827.

Y. Zhou, "Worldwide carbon neutrality transition? Energy efficiency, renewable, carbon trading and advanced energy policies," 2023. doi: 10.1016/j.enrev.2023.100026.

A. R. Muhammad and S. M. Damayanti, "Financial Feasibility Analysis of Gumanti Micro Hydro Power Plant Project," *Jurnal Of Business And Managemen*, vol. 4, no. 3, 2015.

C. B. Amougou, D. Tsuanyo, D. Fioriti, J. Kenfack, A. Aziz, and P. Elé Abiama, "LCOE-Based Optimization for the Design of Small Run-of-River Hydropower Plants," *Energies (Basel)*, vol. 15, no. 20, 2022, doi: 10.3390/en15207507.

Moh. Sofyan and I. M. Sudana, "Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Berdasarkan Debit Air dan Kebutuhan Energi Listrik," *Jurnal Listrik, Instrumenasi, dan Elektronika Terapan*, vol. 3, no. 2, 2022, doi: 10.22146/juliet.v3i2.64410.

L. N. Rahayu and J. Windarta, "Tinjauan Potensi dan Kebijakan Pengembangan PLTA dan PLTMH di Indonesia," *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 3, no. 2, 2022, doi: 10.14710/jebt.2022.13327.

Rizdam Firly Muzakki, "Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (Pltmh) Di Pulau Timor, Nusa Tenggara Timur," *Jurnal Rekayasa Elektro Sriwijaya*, vol. 4, no. 2, 2023, doi: 10.36706/jres.v4i2.81.

J. A. , & R. M. A. Sánchez, "Feasibility study of a micro-hydro power plant in a rural area of Colombia: Technical, economic, and environmental analysis," *Renewable Energy*, 104, 498-506., 2017.

B. K. Ahmad Wibowo, "Kajian Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro di Sungai Air Kule Kabupaten Kalur," *Jurnal Teknik Sipil*, 2016.

D. H. S. Catur S. Dewi, "Analisis Kelemahan dan Kelebihan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro," *Kumparan Fisika*, 2020.

F. M. Muhammad Basyir, "Analisis Keberlanjutan Sosial dan Ekonomi pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)," *Jurnal Pembangunan Ekonomi*, 2021.

N. F. Rudi Hartono, "Studi Potensi Pembangkitan Listrik Tenaga Mikro Hidro di Pulau Timor," *Jurnal Rekayasa Elektro Sriwijaya*, 2022.

H. C. Dwi Kurniawan, "Implementasi Perdagangan Emisi Karbon dalam Rangka Mitigasi Perubahan Iklim ,," *Jurnal Analisis Kebijakan Kehutanan*, 2023.

K. P. Adi P. Wibowo, "Kajian Pembangkitan Energi Terbarukan dari PLTMH di Daerah Aliran Sungai Citarum," *Jurnal Energi dan Lingkungan*, 2020.

T. A. B. K. Wardana and C. A. Siregar, "ANALISIS PERENCANAAN PONDASI DINAMIS UNTUK MENDUKUNG MESIN TURBIN PADA PLTM WARNAKI DI MANOKWARI, PROVINSI PAPUA BARAT," *Sistem Infrastruktur Teknik Sipil (SIMTEKS)*, vol. 2, no. 1, 2022, doi: 10.32897/simteks.v2i1.1539.

T. Jaelani and E. Walujodjati, "Analisis dan Desain Power House Proyek PLTM Cikandang 1 Pakenjeng Garut," *Jurnal Konstruksi*, vol. 19, no. 2, 2022, doi: 10.33364/konstruksi/v.19-2.880.

M. , & H. A. Syam, "Perencanaan PLTM Palumbungan, Purbalingga," *Jurnal Teknik Energi*, 5(2), 75-82. Institut Teknologi PLN, 2020.

B. , & P. P. Setiono, "Simulasi dinamis dalam pembangkit listrik tenaga mikrohidro dengan menggunakan model analisis sistem energi," *Jurnal Energi Terbarukan*, 14(1), 100-110. Institut Teknologi PLN, 2020.

S. Kurniawan, "Analisis kinerja sistem PLTM terhadap variasi debit aliran sungai di Indonesia," *Jurnal Teknologi Energi*, 11(2), 135-145. Institut Teknologi PLN, 2022.

R. , & H. A. Putra, "Pemodelan sumber energi mikrohidro untuk pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTM)," *Jurnal Energi Terbarukan*, 10(1), 130-140. Institut Teknologi PLN, 2021.

A. Sidqi, "Analisa kualitas penyaluran daya pada sistem 20 kV Painan terhadap interkoneksi dengan PLTM Lumper 3 MW," *Jurnal Teknologi Energi*, 7(3), 256-265. Institut Teknologi PLN, 2021.

I. , & F. R. Wahyu, "Analisa daya PLTM Tukad Balian, Tabanan menggunakan simulink," *Jurnal Teknik Mesin*, 7(2), 54-62. Institut Teknologi PLN, 2020.

B. Gudlaugsson, T. G. Ahmed, H. Dawood, C. Ogwumike, M. Short, and N. Dawood, "Cost and environmental benefit analysis: An assessment of renewable energy integration and smart solution technologies in the InteGRIDy project," *Cleaner Energy Systems*, vol. 5, 2023, doi: 10.1016/j.cles.2023.100071.

M. León, J. Silva, R. Ortíz-Soto, and S. Carrasco, "A Techno-Economic Study for Off-Grid Green Hydrogen Production Plants: The Case of Chile," *Energies (Basel)*, vol. 16, no. 14, 2023, doi: 10.3390/en16145327.

S. Sung and W. Jung, "Economic competitiveness evaluation of the energy sources: Comparison between a financial model and leveled cost of electricity analysis," *Energies (Basel)*, vol. 12, no. 21, 2019, doi: 10.3390/en12214101.

G. G. Dranka, J. Cunha, J. D. de Lima, and P. Ferreira, "Economic evaluation methodologies for renewable energy projects," *AIMS Energy*, vol. 8, no. 2, 2020, doi: 10.3934/ENERGY.2020.2.339.

Mardelin Kastela, B. Widodo, and R. Purba, "Perancangan Pembangkit Listrik Tena ga Hibrida (PLTS Dan PLTMH-GRID) Di Desa Tiworiwu I Dan Desa Bea Pawe, Kabupaten Ngada, Nusa Tenggara Timur (NTT)," *Lektronik : Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 6, no. 2, 2023, doi: 10.33541/letronik.v6i2.5173.

S. Suandi and N. Chayati, "Studi Kelayakan Finansial pada Proyek Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) Pongkor," *Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2018*, vol. 1, no. 1, 2018.

S. Baurzhan, G.P. Jenkins, and G. O. Olasehinde-Williams, "The economic performance of hydropower dams supported by the world bank group, 1975–2015," *Energies (Basel)*, vol. 14, no. 9, 2021, doi: 10.3390/en14092673.

D. Djaenudin, M. Lugina, and G. Kartikasari, "The Forest Carbon Market Implementation Progress in Indonesia," *Jurnal Analisis Kebijakan*, vol. 13, no. December, 2016.

M. Rumbayan and K. Nagasaka, "Emission And Financial Analysis Of Geothermal Energy Resource (The Case Of Lahendong Site In Indonesia)," *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, vol. 2, no. august, 2012.

B. Shi, N. Li, Q. Gao, and G. Li, "Market incentives, carbon quota allocation and carbon emission reduction: Evidence from China's carbon trading pilot policy," *J Environ Manage*, vol. 319, 2022, doi: 10.1016/j.jenvman.2022.115650.

Kementerian ESDM, "Penuhi Kebutuhan Listrik 2060 dan Capai NZE, Kementerian ESDM Optimalkan Pemanfaatan Energi Bersih," 2021.

PT. PLN (Persero), "Feasibility Study Pekerjaan Jasa Penyusunan Studi Kelayakan PLTM Walesi Cascade," *FS PUSHARLIS*, 2021.

PT. PLN Persero, "Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT PLN (Persero) 2021-2030," 2021.

M. Wongphat and S. Premrudeepreechacharn, "Evaluation of engineering and economic feasibility of micro-hydropower plant project," in *IYCE 2015 - Proceedings: 2015 5th International Youth Conference on Energy*, 2015. doi: 10.1109/IYCE.2015.7180813.

V. Firmansyah, M. K. Adinarayana, R. Tetrisyanda, and G. Wibawa, "Scenario of renewable energy transition from fossil energy resources towards net zero emission in Indonesia," in *E3S Web of Conferences*, 2023. doi: 10.1051/e3sconf/202346704005.