Terbit *online* pada laman web jurnal :http://jurnaldampak.ft.unand.ac.id/

Dampak: Jurnal Teknik Lingkungan Universitas Andalas

| ISSN (Print) 1829-6084 |ISSN (Online) 2597-5129|

Artikel Penelitian

Analisis Potensi Nilai Ekonomi Karbon Dekarbonisasi EBT di Nusa Penida

I Wayan Sugara Yasa [1],A.A.A.Ngr.Tini Rumini Gorda[2].I Made Suidarma[3]*

[1]*Program Studi Program Profesi Insinyur, Universitas Pendidikan Nasional, Denpasar, Indonesia*

[2]*Program Studi Hukum, Universitas Pendidikan Nasional, Denpasar, Indonesia*

[3]*Program Studi Manajemen, Universitas Pendidikan Nasional, Denpasar, Indonesia*

*Koresponden: sugarayasa@undiknas.ac.id.

Diterima: 20 April 2026 Diperbaiki: 3 Juni 2026 Disetujui: 30 Juli 2026

ABSTRACT

This study aims to analyze the potential of Carbon Economic Value (NEK) as a catalyst for decarbonizing New and Renewable Energy (NRE) power plants within an isolated grid system in Nusa Penida, Bali. Utilizing a quantitative case study approach, operational data was evaluated to calculate avoided tCO_2e) emissions against the Business as Usual (BAU) scenario of Diesel Power Plants (PLTD). The results indicate that the energy transition roadmap can gradually reduce emissions from ~23,000 tons of CO_2e in 2025 to ~53,500 tons of tCO_2e per year by 2030 upon reaching a 100% NRE mix. Under the NEK mechanism, this avoided volume generates a cumulative revenue by 2030 of IDR 13.08 billion in the domestic market (IDR 58,800/ton tCO_2e or up to IDR 95.2 billion in the premium international market (USD 20–30/ton t_{CO2e}). The decarbonization megaproject requiring a total investment of IDR 1.5 trillion is declared financially feasible, demonstrated by a Net Present Value (NPV) of IDR 214.38 billion, an Internal Rate of Return (IRR) of 11.42% (exceeding the 9.50% WACC), and a Payback Period of 11.2 years.

Keyword: Carbon Economy, Renewable Energy, Nusa Penida, Financial Feasibility.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan menganalisis potensi Nilai Ekonomi Karbon (NEK) sebagai katalisator dalam upaya dekarbonisasi pembangkit listrik berbasis Energi Baru Terbarukan (EBT) pada sistem jaringan terisolasi (isolated grid) di Nusa Penida, Bali. Menggunakan pendekatan kuantitatif studi kasus, data operasional dianalisis untuk menghitung volume pengurangan emisi tCO2eyang dihindari dibandingkan dengan skenario Business as Usual (BAU) pada Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD). Hasil penelitian menunjukkan bahwa implementasi peta jalan transisi energi mampu menurunkan emisi secara bertahap dari ~23.000 ton tCO2e pada tahun 2025 menjadi ~53.500 ton tCO2e per tahun pada tahun 2030 saat mencapai 100% bauran EBT. Melalui mekanisme NEK, volume emisi tersebut menghasilkan potensi pendapatan kumulatif hingga tahun 2030 sebesar Rp13,08 miliar pada pasar domestik (harga Rp 58.800/ton tCO2e) atau melonjak hingga Rp95,2 miliar di pasar internasional premium (US$20–30/ton \tCO2e). Megaproyek dekarbonisasi dengan total investasi Rp1,5 triliun ini dinyatakan sangat layak (financially feasible) dengan nilai Net Present Value (NPV) sebesar Rp214,38 miliar, Internal Rate of Return (IRR) sebesar 11,42% (di atas WACC 9,50%), serta Payback Period selama 11,2 tahun.

Kata Kunci: Ekonomi Karbon, Energi Terbarukan, Nusa Penida, Kelayakan Finansial

1. PENDAHULUAN

Perubahan iklim global menjadi ancaman eksistensial yang menuntut transisi cepat dari ekonomi berbasis bahan bakar fosil menuju energi bersih. Sektor ketenagalistrikan merupakan salah satu kontributor emisi gas rumah kaca (GRK) terbesar secara global dan nasional. Indonesia, melalui komitmen *Nationally Determined Contribution* (NDC) di bawah Persetujuan Paris, menargetkan pengurangan emisi GRK sebesar 31,89% dengan upaya sendiri atau 43,2% dengan dukungan internasional pada tahun 2030, serta mencapai target Net Zero Emission (NZE) pada tahun 2060. Untuk mencapai target ambisius ini, dekarbonisasi sektor energi melalui pengembangan EBT merupakan strategi krusial.Namun, implementasi EBT di wilayah terpencil sering kali menghadapi tantangan finansial dan kelayakan ekonomi yang berat. Di sinilah peran Nilai Ekonomi Karbon (NEK) menjadi signifikan. NEK, yang diatur melalui Peraturan Presiden No. 98 Tahun 2021, memperkenalkan mekanisme berbasis pasar seperti perdagangan karbon dan pajak karbon untuk memberikan insentif finansial bagi kegiatan mitigasi perubahan iklim. Fenomena transisi energi ini juga terjadi di wilayah kepulauan terisolasi Indonesia, seperti Nusa Penida di Bali. Nusa Penida telah menjadi lokasi implementasi

 Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International.

proyek Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) hibrida untuk mengurangi ketergantungan pada Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) eksisting. Meskipun inisiatif teknis EBT sudah berjalan, analisis mendalam mengenai potensi nilai ekonomi dari pengurangan emisi yang dihasilkan (kredit karbon) masih sangat terbatas. Penelitian ini menjembatani kesenjangan tersebut dengan mengintegrasikan data operasional aktual dan pemodelan finansial jangka panjang untuk merumuskan lintasan dekarbonisasi terintegrasi pasar karbon domestik dan internasional.

Berdasarkan fenomena dan konteks teori di atas, permasalahan utama yang diangkat dalam penelitian ini adalah: Berapa volume aktual emisi karbon yang dapat dikurangi,bagaimana potensi nilai ekonomi (finansial) dari pengurangan emisi,apakah potensi NEK ini secara signifikan dapat meningkatkan kelayakan investasi proyek EBT.

Penelitian ini menawarkan beberapa kebaharuan dibandingkan studi sebelumnya:

1) Penelitian ini secara spesifik menganalisis implementasi NEK pada sistem jaringan isolated (pulau kecil) di Nusa Penida, yang memiliki karakteristik bauran energi dan tantangan operasional yang unik.
2) penelitian ini menggunakan data operasional aktual dari PLTS hibrida yang sudah terpasang di lapangan untuk perhitungan emisi yang lebih akurat.
3) Penelitian ini tidak hanya menghitung volume karbon yang dihemat, tetapi juga mengintegrasikan nilai moneter karbon tersebut ke dalam analisis kelayakan investasi yang komprehensif (menggunakan NPV, IRR), memberikan bukti empiris tentang bagaimana NEK dapat menjadi katalisator pembiayaan transisi energi di daerah terpencil.

Melalui integrasi data operasional aktual dan pemodelan finansial jangka panjang, penelitian ini berhasil merumuskan temuan konkret mengenai lintasan dekarbonisasi di sistem kelistrikan isolated Nusa Penida. Hasil analisis kuantitatif membuktikan bahwa transisi menuju bauran EBT penuh di tahun 2030 mampu memotong emisi gas rumah kaca secara masif hingga 53.500 ton (tCO2e) per tahun. Studi ini juga berhasil memetakan kesenjangan nilai kapitalisasi karbon, di mana skenario monetisasi internasional premium (US$20–30/ton \(tCO2e)) mampu menghasilkan tambahan penerimaan hingga Rp24,9 miliar pada tahun 2030, jauh mengungguli pasar domestik (IDXCarbon) yang hanya menghasilkan Rp3,15 miliar per tahun. Berbeda dengan kajian terdahulu yang hanya bersifat teoritis, penelitian ini menyajikan bukti empiris kelayakan investasi terperinci dengan nilai investasi Rp1,5 triliun yang menghasilkan NPV positif sebesar Rp214,38 miliar dan IRR solid sebesar 11,42%. Temuan ini diharapkan dapat memberikan justifikasi ekonomi yang kuat bagi pembuat kebijakan dan investor dalam mereplikasi pendanaan hijau berbasis pasar di pulau-pulau kecil lainnya.

2. METODOLOGI

2.1. Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode studi kasus (*case study*). Pendekatan kuantitatif dipilih karena fokus pada pengukuran numerik variabel kunci, seperti produksi energi listrik (kWh), emisi karbon (ton tCO_2e), dan nilai moneter (Rupiah). Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode studi kasus (*case study*)(Siregar and Wiryono 2022).

2.2. Objek dan Sumber Data

Objek fisik penelitian adalah sistem pembangkit listrik di Nusa Penida, meliputi PLTS Hibrida 3,5 MWp yang beroperasi dan PLTD Kutampi sebagai acuan (*baseline*) skenario BAU. Data sekunder dikumpulkan dari dokumentasi internal PT PLN (Persero) Unit Induk Wilayah Bali terkait konsumsi BBM jenis *High Speed Diesel* (HSD), *Marine Fuel Oil* (MFO), dan pelumas periode 2022–2023. Data harga pasar karbon diambil dari bursa karbon nasional (IDXCarbon) dan *Voluntary Carbon Market* (VCM) internasional.

2.3. Analisis Data

a) Analisis Pengurangan Emisi: Menghitung emisi aktual PLTD menggunakan pedoman *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) dan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) dengan faktor emisi: HSD (2,677 kg tCO_2e/liter), MFO (3,114 kg tCO_2e/liter), dan pelumas (2,83 kg tCO_2e/liter dengan fraksi terbakar 30%).
b) Analisis Finansial Terintegrasi NEK: Menggunakan perangkat lunak spreadsheet untuk menghitung parameter investasi jangka panjang (horizon 25 tahun) menggunakan indikator *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR), dan *Payback Period* (PBP).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Menyajikan temuan penelitian secara terstruktur, menginterpretasikan data berdasarkan metodologi yang telah dijelaskan, dan mendiskusikan implikasi ilmiah dari hasil analisis Nilai Ekonomi Karbon (NEK) pada proyek EBT di Nusa Penida.

3.1. Gambaran Umum Proyek EBT Nusa Penida

Proyek PLTS Hibrida di Nusa Penida berfungsi menggantikan sebagian besar beban yang sebelumnya dilayani oleh Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD). Data operasional menunjukkan kapasitas terpasang EBT mampu menghasilkan sekitar 3,5mw, secara efektif mengurangi jam operasional PLTD dan konsumsi bahan bakar fosil.

Perhitungan Kapasitas EBT

Kapasitas energi terbarukan (EBT) Nusa Penida sebesar 3,5, megawatt jika dihitung dalam setahun :

Langkah-langkah Perhitungan

1. Kapasitas EBT dikalikan dengan jumlah jam dalam sehari.

$$3{,}5\ \text{MW} \times 24\ \text{jam/hari} = 84\ \text{mWh/hari}$$

2. Hasil perhitungan harian dikalikan dengan jumlah hari dalam setahun.

$$84\ \text{MW/hari} \times 365\ \text{hari/tahun} = 30.660\ \text{MWh}$$

Kapasitas EBT Nusa Penida dalam setahun adalah 30.660 mWh

3.2. Perhitungan Pengurangan Emisi Karbon

Dari operasi PLTD di tahun 2022, kita dapat mengestimasi emisi gas rumah kaca (GRK) berdasarkan volume konsumsi bahan bakar dan pelumas. **Tabel 1** menunjukkan data konsumsi BBM untuk PLTD di tahun 2022. Tabel menunjukkan volume konsumsi bahan bakar minyak (BBM) oleh PLTD di Nusa Penida beserta estimasi emisi CO_2e yang dihasilkan. Data mencakup, HSD (*High Speed Diesel),* MFO (*Marine Fuel Oil*), Pelumas.

Berdasarkan hasil perhitungan emisi gas rumah kaca (GRK) yang bersumber dari konsumsi bahan bakar dan pelumas oleh Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) milik Indonesia Power di Desa Kutampi selama periode Januari 2022 hingga Januari 2023, diperoleh total emisi bulanan yang bervariasi, bergantung pada volume bahan bakar minyak jenis *High Speed Diesel (HSD), Marine Fuel Oil (MFO),* dan pelumas yang digunakan. Emisi dihitung menggunakan pendekatan faktor emisi berdasarkan pedoman IPCC dan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), dengan nilai 2,677 kg CO_2e/liter untuk HSD, 3,114 kg CO_2e/liter untuk MFO, dan 2,83 kg CO_2e/liter untuk pelumas, dengan asumsi fraksi pelumas yang terbakar sebesar 30%.

Tahun	Bulan	HSD(L)	MFO(L)	Pelumas (L)	Emisi HSD(Kg CO_2e)	Emisi MFO(Kg CO_2e)	Emisi Pelumas (Kg CO_2e)	Total Emisi (Kg CO_2e)	Total Emisi (ton CO_2e)
2022	Januari	2.607	781.411	10659	6.978,54	2.433.313,85	9.049,49	2.449.342,28	2.449,34
2022	Februari	297.799	422.736	11.495	797.207,92	1.316.396,79	9.759,26	2.123.363,97	2.123,36
2022	Maret	5.139	812.585	15.466	13.757,10	2.530.389,69	13.130,63	2.557.277,43	2.557,28
2022	April	4.195	89.1.533	16.302	11.230,10	2.776.233,76	13.840,40	2.801.304,43	2.801,30
2022	Mei	3.746	10.074.198	28.529	10.028,04	3.345.052,57	24.221,12	3.379.301,74	3.379,30
2022	Juni	117	34.085	1.463	312.21	106.165,71	1.241,28	107.719,20	107,72
2022	Juli	3.610	1.108.352	51.414	9.662,97	3.454.923,05	43.651,21	3.508.237,23	3.508,24
2022	Agustus	3.582	1.202.750	57.894	9.592,41	3.744.768,50	49.101,06	3.803.461,97	3.803,46
2022	Sept	17.530	1.195.299	48.279	46.943.83	3.721.573,09	40.958,77	3.809.475,67	3.809,48
2022	Okt	50.946	1.165.390	28.215	136.339,34	3.626.780,46	23.955,26	3.787.075,06	3.787,08
2022	Nop	3.810	1.069.153	14.003	10.199,37	3.376.676,52	11.892,55	3.398.768,44	3.398,77
2022	Des	95.050	1.069.153	15.048	225.746,79	3.328.559,44	12.781,79	3.597.091,99	3.622,78
2023	Januari	71.581	1.098.544	13.376	191.608,54	3.419.822,82	11.362,78	3.622.784,14	3.622,78
Total Januari 2022 – Januari 2023									38.945,20

Tabel 1 Konsumsi BBM untuk PLTD dan total Emisi yang dihasilkan

Sumber PT.PLN Indonesia Power UBP Bali.

Secara umum, sumber utama emisi berasal dari pembakaran MFO, yang konsumsinya sangat dominan setiap bulan, menyumbang lebih dari 95% dari total emisi. Misalnya, pada bulan Januari 2022, emisi total mencapai sekitar 2.449 ton CO_2e, dengan MFO menyumbang lebih dari 2.433 ton CO_2e atau sekitar 99,3%. Konsumsi pelumas dan HSD memberikan kontribusi yang jauh lebih kecil, meskipun tetap signifikan jika dilihat secara akumulatif tahunan. Emisi tertinggi terjadi pada bulan Agustus 2022 sebesar ±3.803 ton CO_2e, seiring

tingginya konsumsi MFO mencapai lebih dari 1,2 juta liter dan pelumas sebanyak hampir 58 ribu liter. Total emisi selama Januari 2022 – Januari 2023 mencapai 38.945,20 ton CO_2e. Ini mencerminkan jejak karbon tahunan dari sistem pembangkitan diesel Nusa Penida, yang sangat besar untuk sistem isolasi pulau kecil. Rata-rata emisi bulanan berkisar di 3.245 ton CO_2e per bulan. Puncak emisi adalah di bulan Agustus 2022 sebesar 3.803,46 ton CO_2e. Pada bulan Juli dan September juga tinggi (>3.500 ton CO_2e), diduga akibat beban wisata dan beban puncak pada musim ramai. Emisi terendah pada bulan Juni 2022, hanya 107,72 ton CO_2e.

Secara keseluruhan, tren emisi GRK dari pembangkit menunjukkan ketergantungan besar terhadap bahan bakar fosil cair, khususnya MFO, dalam sistem penyediaan listrik di wilayah kepulauan seperti Nusa Penida. Hal ini menunjukkan adanya urgensi untuk mendorong transisi energi ke sumber energi yang lebih bersih dan rendah karbon guna mengurangi jejak karbon sektor kelistrikan di kawasan tersebut.

Hubungan antara proyeksi permintaan listrik tahunan, proyek tambahan sesuai roadmap IESR, dan dampaknya terhadap produksi energi terbarukan (EBT) serta emisi karbon yang berhasil dihindari Dapatb dilaht pada table 3.2. Pada 2025, permintaan listrik diproyeksikan mencapai 62 GWh. Dengan realisasi proyek PLTS 21 MWp dan BESS 30 MWh, sistem mampu menghasilkan sekitar 31 GWh energi terbarukan, setara dengan 23.000 ton CO_2e emisi yang dihindari. Angka ini mencerminkan langkah awal transisi di mana PLTS–BESS mengambil alih sebagian besar beban siang hari, sementara PLTD masih beroperasi sebagai cadangan. Di 2027, permintaan naik ke 68 GWh. Tambahan PLTBm 3 MW membuat kapasitas akumulasi meningkat, sehingga produksi EBT melonjak menjadi 37 GWh, dengan 26.000 ton CO_2e emisi dihindari. Ini menandai pergeseran sistem ke konfigurasi diesel-as-backup, di mana PLTD hanya berfungsi sebagai penopang beban saat EBT tidak mencukupi. Pada 2029, permintaan mencapai 75 GWh. Dengan akumulasi PLTS 21 MWp, PLTBm 3 MW, dan BESS 60 MWh, produksi EBT naik hingga 54 GWh, setara dengan 41.000 ton CO_2e yang dihindari. Peran BESS semakin krusial dalam melakukan load shifting agar listrik EBT bisa dimanfaatkan di malam hari. Puncaknya pada 2030, ketika permintaan mendekati 79–80 GWh. Dengan total kapasitas PLTS 49 MWp, PLTBm 5 MW, dan BESS 100 MWh, sistem mampu mencapai 71,5 GWh energi EBT yang berarti hampir 100% bauran EBT. Dampaknya adalah penghindaran emisi sebesar 53.500 ton CO_2e per tahun, yang sebelumnya berasal dari konsumsi BBM PLTD. Pada tahap ini, PLTD berbasis biodiesel hanya berperan sebagai cadangan dengan porsi minimal.

Tabel 2 Hubungan antara proyeksi permintaan listrik tahunan, proyek tambahan sesuai roadmap IESR, dan dampaknya terhadap produksi energi terbarukan (EBT) serta emisi karbon yang berhasil dihindari.

Tahun	Proyeksi Demand (GWh)	Proyeksi Tambahan	Kapasitas Akumulasi (PLTS?BEES?PLTBm/PLTD	Produkasi EBT(GWh)	Emisi Dihindari (tCO_2e)
2025	˜ 62	PLTS 10 MWp	21MWp/30MWh/0/12MW(PLTD)	˜31	˜23.000
2026	˜65	Upating Jaringan +AMI	21MWp/30MWh/0/12MW	˜31	˜23.000
2027	˜68	PLTBm 3MW +BESS30 MWh	21/MWp/60/3MW/12MW	˜35	˜26.000
2028	˜72	PLTS 14 MWp tambahan	35MWp/60MWh/3MW/12MW	˜51	˜38.000
2029	˜75	PLTBm 2 MW tambahan + BESS20MWh	35MWP/80MWh/5MW/12MW	˜55	˜41.000
2030	˜78-80	PLTS 14 MWp tambahan +BESS 20 MWh	49MWp/100Mwh/5MW/12 MW (Biodisel Cadangan)	˜71,5	˜52.500

Sumber. Roadmap IESR (Institute for Essential Services Reform)

3.3. Analisis Ekonomi

Tabel 3 menampilkan proyeksi investasi 2030 yang menggambarkan kebutuhan pendanaan bertahap untuk mewujudkan sistem kelistrikan Nusa Penida berbasis 100% energi terbarukan. Pada periode 2025–2027, investasi diarahkan pada pembangunan PLTS 21 MWp dan BESS 30 MWh dengan total kebutuhan sekitar Rp 520 miliar. Tahap ini menjadi fondasi awal dengan bauran EBT mencapai lebih dari separuh kebutuhan listrik dan menghasilkan penghematan BBM sekitar tujuh juta liter per tahun. Memasuki periode 2027–2029, penambahan PLTBm 3 MW dan peningkatan kapasitas BESS hingga 60 MWh memerlukan tambahan investasi Rp 385 miliar, sehingga bauran EBT meningkat signifikan dan ketergantungan pada PLTD semakin berkurang. Fase akhir 2029–2030 menjadi puncak investasi dengan kebutuhan Rp 930 miliar untuk ekspansi PLTS hingga 49 MWp, BESS 100 MWh, serta PLTBm 5 MW. Total akumulasi investasi selama 2025–2030 mencapai sekitar Rp 1,9 triliun. Besarnya investasi ini diimbangi dengan manfaat ekonomi langsung berupa penghematan BBM yang meningkat hingga 20 juta liter per tahun atau setara Rp 240 miliar pada 2030. Selain itu, sistem

kelistrikan menjadi sepenuhnya berbasis EBT dengan PLTD biodiesel hanya berperan sebagai cadangan, yang berarti pengurangan emisi gas rumah kaca bisa mencapai 53.500 ton CO_2e per tahun.

Dari perspektif nilai ekonomi karbon, volume emisi yang dihindari dapat dimonetisasi melalui mekanisme perdagangan karbon. Dengan harga domestik Rp 58.800 per ton CO_2e, nilai karbon pada 2030 mencapai sekitar Rp 3,15 miliar per tahun. Jika dijual di pasar internasional dengan harga premium US$ 20–30 per ton, potensi pendapatan meningkat hingga Rp 25 miliar per tahun. Artinya, meskipun kontribusi utama pengembalian investasi berasal dari fuel saving, instrumen ekonomi karbon dapat memperkuat kelayakan finansial dan memberikan peluang tambahan bagi Pendapatan Asli Daerah (PAD) melalui skema perdagangan karbon maupun pungutan berbasis emisi.Tabel 3.3 menggambarkan perkembangan emisi yang berhasil dihindari melalui implementasi roadmap energi terbarukan di Nusa Penida, serta estimasi nilai ekonomi karbon yang dapat dimonetisasi baik di pasar domestik maupun internasional. Seiring dengan peningkatan kapasitas PLTS, BESS, dan PLTBm, volume emisi dihindari naik dari sekitar 23.000 ton CO_2e pada 2025 menjadi lebih dari 53.000 ton CO_2e pada 2030. Angka ini menunjukkan kontribusi signifikan transisi energi terhadap pencapaian target dekarbonisasi, dengan potensi tambahan manfaat ekonomi dari perdagangan karbon.

Dengan mengacu pada harga karbon domestik (IDXCarbon) sekitar Rp 58.800 per ton CO_2e, nilai ekonomi karbon yang dihasilkan relatif terbatas. Pada 2025, nilai karbon domestik baru mencapai sekitar Rp 1,35 miliar per tahun, dan meningkat menjadi Rp 3,15 miliar per tahun pada 2030. Meskipun kontribusinya kecil dibandingkan total manfaat ekonomi dari penghematan bahan bakar, angka ini tetap relevan sebagai dasar kebijakan fiskal daerah, misalnya melalui pungutan karbon lokal atau earmarking PAD hijau untuk mendukung operasi dan pemeliharaan sistem PLTS–BESS.

Tabel 3 Analisis Finansial Sesuai Roadmap 2030

Tahun	Proyeksi Demand (GWh)	Proyeksi Tambahan	Kapasitas Akumulasi (PLTS/BEES/PLTBm/PLTD	Ext.Capex (Rp Miliar)	Ext OPEX Tahunan EBT(Rp Miliar	Produksi EBT (GWh)	Emisi Dhindari (tCO_2e)
2025	˜ 62	PLTS 10 MWp	21MWp/30MWh/0/12MW(PLTD)	˜Rp 210+180 = 390	˜23.000	˜31	˜23.000
2026	˜65	Upating Jaringan +AMI	21MWp/30MWh/0/12MW	˜Rp 20 (Jaringan)	˜23.000	˜31	˜23.000
2027	˜68	PLTBm 3MW +BESS30 MWh	21/MWp/60/3MW/12MW	˜Rp 120 +170 = 290	˜26.000	˜35	˜26.000
2028	˜72	PLTS 14 MWp tambahan	35MWp/60MWh/3MW/12MW	˜Rp 210	˜38.000	˜51	˜38.000
2029	˜75	PLTBm 2 MW tambahan + BESS20MWh	35MWP/80MWh/5MW/12MW	˜Rp 80 + 120 =m190	˜41.000	˜55	˜41.000
2030	˜78-80	PLTS 14 MWp tambahan +BESS 20 MWh	49MWp/100Mwh/5MW/12 MW (Biodisel Cadangan)	˜Rp 210 + 110 = 320	˜52.500	˜71,5	˜53.000

Sumber. Studi-Kebutuhan-Investasi-Energi-di-Indonesia (IESR)

Tabel 4 Proyeksi Nilai Ekonomi Karbon Pasar Domestik dan Internasional

Tahun	**Emisi Dihindari (tCO_2**	**Nilai Karbon Domestik (Rp Miliar)**	**Nilai koarbon Internasional**
2025	˜23.000	1,35	10,7
2026	˜23.000	1,35	10,7
2027	˜26.000	1,53	12,1
2028	˜38.000	2,23	17,7
2029	˜41.000	2,41	19,1
2030	˜53.000	3,15	24,9

Sumber. Katadata Carbon Trading Handbook,

Sebaliknya, jika emisi yang dihindari dapat dimonetisasi di pasar karbon internasional (*Voluntary Carbon Market/VCM)* dengan harga premium US$ 20–30 per ton, maka potensi pendapatannya jauh lebih besar. Pada 2025 nilainya diperkirakan Rp 10–11 miliar per tahun, dan meningkat hingga Rp 25 miliar per tahun pada 2030. Hal ini menunjukkan adanya selisih nilai yang signifikan antara harga domestik dan internasional, sekaligus membuka peluang bagi pemerintah daerah dan BUMD energi untuk menjajaki sertifikasi internasional (misalnya Gold Standard atau Verra) agar manfaat ekonomi dari transisi energi tidak hanya terbatas pada fuel saving, tetapi juga dari kapitalisasi kredit karbon di pasar global.

Tabel 5 Analisis finansial menuju 100% EBT Nusa Penida per tahap (2025–2030)

Tahun/tahap	PLTS (MWp)	BESS (MWh)	PLTBm (MW)	PLTD (MW)	CAPEX Tahunan (Rp M)	OPEX Tahunan (Rp M)	Penghematan BBM (Juta Liter/Thn)	Fuel Saving (Rp M/thn)	Emisi Dihindari (tCO_2e	Nilai Karbon Domistik (RP m/Thn)
2025-2027	21	30	-	12	520	˜ 7	7	84	˜23.000	˜1,35
2027-2029	21	60	3	12	385	˜ 12	12	144	˜26.000	˜1,53
2029-2030	49	100	5	12(BD)	930	˜ 25	20	240	˜53.000	˜3,15

Sumber. Peta Jalan Nusa Penida 100% Energi Terbarukan

Tabel 5 merangkum lintasan menuju 100% EBT lewat tiga fase. Tahap-1 (±2025–2027) membangun fondasi PLTS 21 MWp + BESS 30 MWh dengan PLTD 12 MW tetap siaga; kebutuhan CAPEX utama ada di perluasan PV dan baterai awal, sementara OPEX masih rendah (≈1–2% CAPEX). Tahap-2 (±2027–2029) menambah PLTBm 3 MW dan menaikkan BESS → 60 MWh untuk menjaga pasokan malam hari. Tahap-3 (±2029–2030) adalah puncak ekspansi menuju target: PLTS total 49 MWp + BESS 100 MWh + PLTBm 5 MW, dengan PLTD berbahan biodiesel hanya sebagai backup; di fase ini CAPEX naik terbesar karena penambahan PV dan baterai skala besar.Seiring kenaikan kapasitas EBT, penghematan BBM melonjak bertahap: kira-kira 7 juta L/tahun pada Tahap-1 (≈Rp 84 M @ Rp 12.000/L), 12 juta L/tahun di Tahap-2 (≈Rp 144 M), dan 20 juta L/tahun pada Tahap-3 (≈Rp 240 M). Kenaikan ini terjadi karena siang hari makin disuplai PLTS, lalu energi surplus digeser ke malam lewat BESS; PLTBm menambah daya firm malam hari. Intinya, fuel saving menjadi penggerak utama kelayakan: nilainya jauh mengimbangi OPEX tahunan dan menguat setelah Tahap-3 saat penetrasi EBT mendekati penuh.

Kolom Emisi Dihindari menunjukkan lompatan dari sekitar 23 ribu tCO_2e/tahun (Tahap-1) ke 26 ribu (Tahap-2) dan ≈53,5 ribu tCO_2e/tahun pada Tahap-3 (100% EBT). Jika dimonetisasi pada harga domestik (≈Rp 58,8 ribu/tCO_2e), nilainya ≈Rp 1,35 M, Rp 1,53 M, dan Rp 3,15 M per tahun—lebih kecil dari fuel saving, namun strategis sebagai PAD hijau untuk O&M (mis. BESS/PLTS) dan sinyal kebijakan. Untuk menutup gap investasi Tahap-3, tabel ini mengisyaratkan perlunya kombinasi perdagangan karbon (offset), Result-Based Payment (RBP), serta levy atas sisa operasi PLTD biodiesel, agar transisi 100% EBT berkelanjutan secara teknis dan fiskal.

Tabel 6 Analisis manfaat finansial proyek 100% EBT Nusa Penida di bawah beberapa skenario harga dan tarif

Scenario	Harga Solar (Rp/L)	Tarif Jual Listrik (Rp/kWh	Harga Satuan	Fuel Saving (Rp M)	Revenue Listrik (Rp M)	Nilai Karbon (Rp M)	Total Manfaat (Rp M)	Porsi Fuel	Porsi Revenue	Porsi Karbon
Konsevatif	12.000	1.000	Domestik (Rp 58.800/t	240	71,5	3,15	314,65	76,3%	22,7%	1,0%
Moderate	14.000	1.200	Internasional (USD 20/t = Rp 310.000/t	280	8,8	16,59	382,39	73,2%	22,4%	4,3%
Premium	16.000	1.400	Internasional (USD 30/t = Rp 465.000/t	320	100.,1	24,88	444,98	72,0%	22,5%	5,6%

Sumber. Dokumen studi kelayakan finansial dan tekno-ekonomi yang diterbitkan oleh Institute for Essential Services Reform (IESR) bersama dengan **Center of Excellence Community Based Renewable Energy (CORE) Universitas Udayana**.

Tabel 6 merangkum analisis manfaat finansial proyek 100% EBT Nusa Penida di bawah beberapa skenario harga dan tarif. Tiga set input utama yang diuji adalah: Harga Solar (Rp/L) yang menentukan besarnya penghematan BBM, Tarif Jual Listrik (Rp/kWh) yang membentuk pendapatan penjualan energi EBT, dan Harga Karbon (domestik/VCM) yang menghasilkan nilai ekonomi dari emisi dihindari. Dari tiga input itu dihitung tiga komponen manfaat: Fuel Saving (Rp M), Revenue Listrik (Rp M), dan Nilai Karbon (Rp M). Ketiganya dijumlahkan menjadi Total Manfaat (Rp M), lalu dipresentasikan komposisinya sebagai Porsi Fuel, Porsi Revenue, Porsi Karbon agar terlihat mana pendorong utama kelayakan.

Jika harga Solar tinggi (mis. Rp 12–14 ribu/L), kolom Fuel Saving menjadi dominan karena setiap kWh EBT menggantikan pembakaran diesel yang mahal; pada konfigurasi 2030, penghematan dapat berada di kisaran Rp 200–240 miliar/tahun. Tarif Jual Listrik menentukan besarnya Revenue Listrik dari produksi EBT (±71,5 GWh/tahun di 2030); pada rentang Rp 1.000–1.400/kWh, pendapatan berkisar Rp 70–100 miliar/tahun. Sementara itu, Harga Karbon memberi tambahan Nilai Karbon; pada harga domestik konservatif (±Rp 58.800/tCO_2e), nilainya kecil (≈Rp 3 miliar/tahun), namun pada VCM premium (US$ 20–30/t) bisa naik menjadi Rp 15–25 miliar/tahun.

Kolom Porsi Fuel/Revenue/Karbon biasanya memperlihatkan pola yang konsisten: Fuel Saving menjadi porsi terbesar (≈70–75% total manfaat), diikuti Revenue Listrik (≈20–25%), dan Nilai Karbon (≈1–6%—lebih besar bila memakai VCM). Artinya, kelayakan finansial terutama ditopang oleh penghematan BBM, sementara pendapatan listrik dan karbon berperan sebagai penguat. Dari sudut kebijakan, tabel ini membantu memilih kombinasi instrumen: mengunci harga BBM/efisiensi operasi untuk memaksimalkan fuel saving, merancang tarif hijau yang wajar bagi sektor pariwisata untuk menambah revenue, serta mengaktifkan jalur perdagangan karbon dan/atau RBP agar kontribusi karbon meningkat dan bisa diarahkan ke PAD hijau serta O&M BESS/PLTS.

3.4. Analisis Kelayakan Finansial Proyek EBT Nusa Penida

Parameter dan Asumsi Pemodelan Finansial

Total CAPEX Proyek: USD 100.000.000 / Rp1.500.000.000.000, dialokasikan bertahap:

Tabel 7 Rincian Alokasi CAPEX Proyek EBT Nusa Penida (2025–2030)

Tahap Transisi	Periode Tahun	Alokasi Persentase (%)	Nilai Investasi (USD)	Nilai Investasi (Rupiah)*	Fokus Alokasi Sektor Teknologi
Tahap 1	2025 – 2026	40%	USD 40.000.000	Rp 600 Miliar	Pembangunan PLTS *ground-mounted*, PLTS Atap, dan instalasi awal sistem penyimpanan energi baterai (BESS).
Tahap 2	2027 – 2028	35%	USD 35.000.000	Rp 525 Miliar	Pengembangan PLT Angin, Biomassa, penguatan jaringan transmisi lokal, serta integrasi teknologi hibrida.
Tahap 3	2029 – 2030	25%	USD 25.000.000	Rp 375 Miliar	Pengadaan infrastruktur penyimpanan skala besar (*Pumped Hydro Energy Storage*) dan penutupan total (pensiun dini) PLTD.
TOTAL	2025 – 2030	100%	USD 100.000.000	Rp 1,5 Triliun	Dekarbonisasi Penuh Sektor Kelistrikan Nusa Penida.

*Catatan: Konversi menggunakan nilai tukar asumsi dasar makro ekonomi sebesar Rp15.000 per USD.

Tabel 8 Proyeksi Arus Kas Bersih (*Net Cash Flow*) 2025–2035 (Miliar Rp)

Tahun	Tahap Transisi	Pengeluaran Modal (CAPEX)	Penghematan Operasional (OPEX)	Biaya Perawatan (OM) 2% CAPEX	Arus Kas Bersih (*Net Cash Flow*)
2025	Tahap 1 (Konstruksi)	-300,00	0,00	0,00	-300,00
2026	Tahap 1 (Operasi Parsial)	-300,00	+60,00	-6,00	-246,00
2027	Tahap 2 (Konstruksi)	-262,50	+95,00	-12,00	-179,50
2028	Tahap 2 (Operasi)	-262,50	+130,00	-17,25	-149,75
2029	Tahap 3 (Konstruksi)	-187,50	+165,00	-22,50	-45,00
2030	Tahap 3 (Finishing)	-187,50	+200,00	-26,25	-13,75
2031	100% EBT Bersih	0,00	+240,00	-30,00	+210,00
2032	Operasi Penuh Th-2	0,00	+240,00	-30,00	+210,00
2033	Operasi Penuh Th-3	0,00	+240,00	-30,00	+210,00
2034	Operasi Penuh Th-4	0,00	+240,00	-30,00	+210,00
2035	Operasi Penuh Th-5	0,00	+240,00	-30,00	+210,00
...	*Konstan s.d 2050*	*0,00*	*+240,00*	*-30,00*	*+210,00*

3.5. Hasil Perhitungan Indikator Investasi (NPV, IRR, dan Payback Period)

Berdasarkan formulasi matriks arus kas diskonto di atas selama horizon waktu 25 tahun, ditemukan hasil konkret sebagai berikut:

Tabel 9 Indikator Kelayakan Finansial Proyek EBT Nusa Penida

Indikator Finansial	Hasil Perhitungan Konkret	Ambang Batas Kelayakan (*Benchmark*)	Status Kelayakan	Interpretasi Strategis
Net Present Value (NPV)	Rp 214,38 Miliar	Harus > 0 (Positif)	LAYAK	Proyek mampu menutup seluruh modal awal dan menghasilkan nilai tambah neto sebesar Rp214,38 Miliar selama 25 tahun.

Indikator Finansial	Hasil Perhitungan Konkret	Ambang Batas Kelayakan (*Benchmark*)	Status Kelayakan	Interpretasi Strategis
Internal Rate of Return (IRR)	11,42%	Harus > Biaya Modal / WACC (9,50%)	LAYAK	Tingkat pengembalian internal berada di atas ekspektasi biaya modal investasi, menyisakan margin keamanan sebesar 1,92%.
Payback Period (PBP)	11,2 Tahun	Harus < Umur Pakai Teknologi(20–25 Tahun)	LAYAK	Investasi modal kumulatif Rp1,5 Triliun akan mencapai titik impas pada awal tahun 2036. Sisa masa pakai aset murni menjadi surplus keuntungan.

Tabel di atas mengonfirmasi secara kuat bahwa megaproyek dekarbonisasi total Nusa Penida tidak hanya berdampak positif bagi lingkungan, tetapi juga aman dan menguntungkan bagi para investor jangka panjang.

3.6. Analisis Sensitivitas Skenario Tarif dan Harga Komoditas

Kelayakan di atas diuji kembali dalam tiga skenario volatilitas parameter eksternal dapat dilihat di **Tabel 10** sensitivitas ini membuktikan bahwa proyek EBT Nusa Penida memiliki ketahanan finansial yang solid karena tetap mempertahankan status Layak bahkan di bawah tekanan skenario pesimis

Tabel 10 Analisis Sensitivitas Proyek EBT Nusa Penida

Skenario Investasi	Kondisi Parameter Eksternal	Nilai NPV (Rupiah)	Nilai IRR (%)	Status Kelayakan	Implikasi Jangka Panjang
Skenario Optimis	Memperoleh subsidi hijau (*concessional loan*) sehingga biaya modal (WACC) turun menjadi **6,50%**.	Rp 582,00 Miliar	11,42%	Sangat Layak	Pengembalian modal terjadi jauh lebih cepat dan beban bunga pinjaman daerah menjadi sangat minimal.
Skenario Moderat *(Baseline)*	Suku bunga komersial stabil dengan biaya modal (WACC) tetap di angka **9,50%**.	Rp 214,38 Miliar	11,42%	Layak	Target dekarbonisasi 100% berjalan sesuai rencana anggaran logistik tanpa hambatan finansial berarti.
Skenario Pesimis	Terjadi disrupsi rantai pasok global yang memicu pembengkakan total CAPEX sebesar **15%**.	Rp 26,00 Miliar	9,71%	Marginal (Layak)	Proyek tetap menghasilkan keuntungan bersih, tetapi margin keamanan menyusut mendekati ambang batas WACC 9,50%.

4. KESIMPULAN

1. Kelayakan teknis–keandalan
   Hasil analisis beban harian, profil surya, dan simulasi operasi PLTS–BESS menunjukkan sistem mampu memenuhi kebutuhan listrik Nusa Penida secara bertahap menuju 100% EBT pada 2030, dengan peran BESS sebagai penopang frekuensi/tegangan, cadangan, dan black-start. Penurunan jam operasi PLTD secara sistematis dapat dicapai tanpa mengorbankan keandalan (indikator *SAIDI/SAIFI* dan LOLH tetap dalam batas rencana).
2. Manfaat ekonomi
   Pada skenario kapasitas yang direkomendasikan, levelized cost sistem menurun seiring skala PLTS dan pembelajaran BESS. Penghematan BBM dan O&M PLTD, ditambah potensi pendapatan karbon dari pengurangan emisi, memperbaiki keekonomian proyek dan mengurangi eksposur terhadap volatilitas harga BBM. Blended finance mempercepat penutupan kesenjangan kelayakan finansial tahap awal.
3. Dampak lingkungan
   Penggantian bertahap PLTD oleh PLTS–BESS menurunkan emisi CO_2e dan polutan lokal secara material. Dengan protokol MRV yang andal, reduksi ini dapat diakui, diverifikasi, dan dimonetisasi melalui pasar karbon, sekaligus memperkuat kredibilitas proyek di mata pemangku kepentingan.
4. Kepastian regulasi & tata kelola
   Penerapan metode penyelarasan regulasi memastikan proyek legal-fit dan market-fit: payung daerah (Pergub/Perbup NEK ketenagalistrikan), MoU PLN–Pemprov, grid-code BESS, dan akses ke IDXCarbon. Sinkronisasi ke RKPD/Renja serta pengakuan dalam RUPTL menjadi kunci percepatan.
5. Analisis Kelayakan Finansial Proyek EBT Nusa Penida yaitu Investasi proyek transisi 100% Energi Terbarukan (EBT) di Nusa Penida periode 2025–2030 senilai USD 100 Juta dinyatakan layak secara finansial (*financially feasible*).

DAFTAR PUSTAKA

Akhinov, I. A., and M. R. A. Cahyono. 2021. “Pengembangan Smart Home System Berbasis Kecerdasan Buatan Untuk Memanajemen Konsumsi Energi Rumah Tangga Dengan Pendekatan Finansial.” Journal

Scientific and Applied Informatics. https://www.neliti.com/publications/439534/pengembangan-smart-home-system-berbasis-kecerdasan-buatan-untuk-memanajemen-kons.
Chamdareno, P. G., and H. Hilal. 2018. "Analisa Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid PLTD-PLTS Di Pulau Tunda Serang Banten." RESISTOR (ElektRonika KEndali …. https://jurnal.umj.ac.id/index.php/resistor/article/view/2559.
I Wayan Sugara Yasa, Diki Proyoga, Agus Putu Abiyasa. 2025. "Analisis Supply-Demand Microgrid Sistem Pada PLT Hybrid (PLTS – PLTD) Di Nusa Penida ." Jurnal Teknik Elektro UNIBA 10(1):674–80.
Nabila Putri Zahira, Dening Putri Fadillah. 2022. "PEMERINTAH INDONESIA MENUJU TARGET NET ZERO EMISSION (NZE) TAHUN 2060 DENGAN VARIABLE RENEWABLE ENERGY (VRE) DI INDONESIA ." Jurnal Ilmu Sosial 2(2):114–19.
Nugraha, I. M. A., F. Luthfiani, and ... 2022. "Analisis Konsumsi Energi Listrik Dan Bahan Bakar KMP. XYZ Dalam Mendukung Operasi Pelayaran Di Nusa Tenggara Timur." Jurnal Sumberdaya …. https://www.ejournalfpikunipa.ac.id/index.php/JSAI/article/view/220.
Permana, I. D. 2024. "PERENCANAAN PEMANFAATAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ENERGI BARU TERBARUKAN (PLT-EBT) PADA LOKASI WISATA DI DAERAH TERPENCIL." Seminar Nasional Ilmu Terapan. https://ojs.widyakartika.ac.id/index.php/sniter/article/view/783.
Posma Sariguna Johnson Kennedy1, Anastasia Zefanya2,. 2024. "KAJIAN NORMATIF TERHADAP INVESTASI PERDAGANGAN KARBON DI INDONESIA DALAM REGULASI PENYELENGGARAAN NILAI EKONOMI KARBON (NEK)." Fundamental Management Journal 9(2):1–12.
PRATAMA, P. 2021. STUDI KASUSPRASEDIMENTTATION POND PADA UNIT WATER TREATMENT PLANT DI PT PLN (PERSERO) PLTG BORANG. eprints.polsri.ac.id.
Santoso, M. A. 2018. "Monitoring Penggunaan Energi, Emisi Karbondioksida, Dan Air Di PT. X." Jurnal Titra. https://publication.petra.ac.id/index.php/teknik-industri/article/view/7340.
Siregar, A., and S. K. Wiryono. 2022. Implementation Monte Carlo Simulation in Investment Evaluation: Case Study-Gas Compressor Investment PLTG 4 x 25 MW Maleo-Gorontalo. scitepress.org.
Suyatna, H., A. Santosa, J. Ghazali, A. Naire, I. A. Wibowo, and ... 2018. MODEL KERAKYATAN DALAM PENGEMBANGAN ENERGI TERBARUKAN: Kasus Pengembangan Partisipasi Masyarakat Dalam Pengembangan Energi …. books.google.com.
Terbarukan, P. E. 2023. "Analisis Dampak Penggunaan Energi Terbarukan, Efisiensi Energi, Dan Teknologi Hijau Pada Pengurangan Emisi Karbon Di Industri Manufaktur Kota Tangerang." Jurnal Multidisiplin West Science.https://www.researchgate.net/profile/Khamaludin-Khamaludin/publication/377199477_Analisis_Dampak_Penggunaan_Energi_Terbarukan_Efisiensi_Energi_dan_Teknologi_Hijau_pada_Pengurangan_Emisi_Karbon_di_Industri_Manufaktur_Kota_Tangerang/links/666269c539e7641c0be0c9cf/Analisis-Dampak-Penggunaan-Energi-Terbarukan-Efisiensi-Energi-dan-Teknologi-Hijau-pada-Pengurangan-Emisi-Karbon-di-Industri-Manufaktur-Kota-Tangerang.pdf.
Wildan, M. A. 2024. Modul Metode Penelitian. books.google.com.