

TRANSISI ENERGI DI DAERAH TERPENCIL: STUDI KASUS IMPLEMENTASI SISTEM HYBRID PLTS-PLTD DI TEMAJOK, KALIMANTAN BARAT

Andi Wulan ¹⁾, Dwija Ardy Pradipta ²⁾, Agung Wirabrata ³⁾

1) Magister Teknik Elektro Institut Teknologi PLN

E-mail: andi2410021@itpln.ac.id ; andy.woeland@gmail.com

2) Magister Teknik Elektro Institut Teknologi PLN

E-mail: dwija2410011@itpln.ac.id : dwijaap@gmail.com

3) Magister Teknik Elektro Institut Teknologi PLN

E-mail: agung2410019@itpln.ac.id ; agung.wirabrata@gmail.com

Abstrak

Transisi energi menuju pemanfaatan energi baru terbarukan (EBT) menjadi strategi utama dalam mendukung komitmen Indonesia mencapai Net Zero Emission pada tahun 2060. Penelitian ini mengevaluasi implementasi sistem pembangkit listrik hybrid antara Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) di Desa Temajok, Kalimantan Barat, sebagai solusi elektrifikasi daerah 3T (Terdepan, Terluar, dan Tertinggal). Sistem ini mengadopsi operasi PLTS pada siang hari dan PLTD pada malam hari, memungkinkan pelayanan listrik selama 24 jam. Hasil studi menunjukkan pengurangan konsumsi bahan bakar fosil, penurunan emisi gas rumah kaca, dan peningkatan efisiensi operasional. Penelitian dilakukan melalui studi literatur dan analisis data lapangan, termasuk profil beban dan kinerja unit pembangkit. Temuan menunjukkan bahwa sistem hybrid ini tidak hanya sejalan dengan kebijakan energi nasional, tetapi juga berpotensi di replikasi di wilayah terpencil lainnya. Tantangan yang diidentifikasi mencakup perlunya optimalisasi konfigurasi sistem, penyesuaian kebijakan, serta penguatan aspek keekonomian dan keberlanjutan proyek. Penelitian ini memberikan kontribusi praktis dan akademik terhadap strategi dekarbonisasi di kawasan terpencil Indonesia.

Kata kunci: transisi energi, energi baru terbarukan, sistem hybrid, PLTS, PLTD.

Pendahuluan

Perubahan iklim global mendorong negara-negara di dunia untuk mengurangi ketergantungan pada energi fosil. Hal ini ditandai dengan Perjanjian Paris tahun 2015 yang mewajibkan setiap negara melakukan upaya pengendalian iklim melalui *Nationally Determined Contributions* (NDC) dan strategi jangka panjang penurunan emisi. Indonesia berkomitmen mencapai Net Zero Emission pada 2060 atau lebih cepat. Dasar hukumnya tercantum dalam Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi yang mengatur penyediaan, cadangan, neraca, dan penyimpanan energi. Selanjutnya, Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN) menargetkan bauran energi baru terbarukan (EBT) 23% pada 2025, sedangkan Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) menargetkan bauran EBT nasional 31% pada 2050.

Keputusan Menteri ESDM Nomor 85 Tahun 2025 tentang RUKN memproyeksikan pada 2050 pasokan listrik Indonesia akan didominasi oleh energi baru terbarukan (EBT) sekitar 74%. Sementara itu, RUPTL 2025–2034 yang disahkan pada Mei 2025 menjadi peta jalan pengembangan sistem kelistrikan nasional sekaligus mendukung target Net Zero Emission 2060. Salah satu fokus utamanya adalah porsi EBT sebesar 61% dari total 42,6 GW kapasitas pembangkit baru, dengan pengembangan merata di seluruh wilayah serta penguatan infrastruktur. Strategi dekarbonisasi meliputi Transmisi Hijau, Smart Grid, pembangkit fleksibel, co-firing, proyek percontohan *Carbon Capture Storage* (CCS), dan sistem penyimpanan energi baterai (BESS).

Berbagai negara telah menunjukkan keberhasilan transisi energi terbarukan yang dapat menjadi pembelajaran bagi Indonesia. Denmark menargetkan pasokan listrik 100% EBT pada 2050, dengan Energy Agreement 2012 yang menetapkan 35% konsumsi listrik dari EBT dan 50% di antaranya dari energi angin [1]. Pada 2021, Denmark mengoperasikan Kriegers Flak Wind Farm berkapasitas 605 MW yang menyuplai listrik untuk 600.000 rumah, sehingga kini separuh kebutuhan listriknya dipenuhi dari energi angin dan surya. Pencapaian ini meningkatkan pemanfaatan EBT

hingga 30% dan menurunkan emisi karbon 40%, didukung kebijakan kuat, infrastruktur memadai, dan keterlibatan masyarakat [2]. Sementara itu, Jerman melalui program Energiewende sejak 2011 menetapkan peralihan dari energi nuklir dan fosil ke EBT dengan target penghentian PLTN, reduksi emisi, pengembangan EBT, serta peningkatan efisiensi energi [3]. Program ini menargetkan kontribusi EBT 40% pada 2020, pengurangan konsumsi energi 20%, serta pengurangan emisi GRK, yang didukung kebijakan seperti Feed-in Tariffs dan insentif pajak [4].

Tiongkok juga menjadi pemimpin transisi energi dengan komitmen puncak emisi sebelum 2030 dan netral karbon sebelum 2060 [5]. Investasi besar dilakukan pada energi angin, surya, hidrogen hijau, dan panas bumi [6], dengan capaian proporsi EBT 50% dari total kapasitas pembangkit pada 2023 [7]. Saat ini, Tiongkok memimpin pengembangan EBT global dengan 339 GW dalam pembangunan yang mencakup hampir dua pertiga pembangkit surya dan angin dunia [8], serta memperluas investasi luar negeri senilai 7,9 miliar USD [9]. Di sisi lain, Australia melalui *Annual Climate Change Statement* 2020 menargetkan NZE 2050, dengan pengurangan emisi 43% dan porsi energi terbarukan 82% pada 2030 [10]. Untuk mencapainya, Australia menyiapkan penghentian bertahap pembangkit fosil, pengembangan energi surya, angin, dan hidro, serta infrastruktur jaringan dan penyimpanan energi. Kebijakan pendukung berupa insentif, carbon pricing, serta kemudahan investasi diterapkan [11], termasuk Solar SunShot Program pada 2024 untuk mendukung komersialisasi dan inovasi PV agar biaya lebih murah dan penggunaan di tingkat rumah tangga meningkat [12].

Indonesia memiliki potensi energi surya yang besar karena letaknya di garis khatulistiwa dengan intensitas radiasi matahari tinggi sepanjang tahun. Pemanfaatan PLTS mendukung penurunan emisi sesuai komitmen nasional sekaligus menawarkan fleksibilitas dan kecepatan implementasi dibandingkan sumber energi terbarukan lain. Perkembangan teknologi PLTS yang semakin efisien dan terjangkau menjadikannya solusi menarik untuk skala kecil hingga besar, terutama dalam meningkatkan rasio elektrifikasi di daerah Terdepan, Terluar, dan Tertinggal (3T). Melalui solar home system, PLTS komunal, maupun sistem hibrida, masyarakat di daerah 3T dapat memperoleh akses listrik yang andal, yang berdampak pada peningkatan kualitas hidup, akses informasi, serta peluang ekonomi. Selain itu, PLTS dapat mengurangi ketergantungan terhadap pembangkit diesel yang sering terkendala biaya tinggi dan logistik bahan bakar. Integrasi PLTS dengan pembangkit existing, khususnya dalam bentuk sistem hibrida, mampu meningkatkan efisiensi operasi, menekan biaya, memperpanjang jam layanan listrik, dan menghadirkan pasokan yang lebih berkelanjutan. Penelitian ini secara khusus akan mengajai implementasi sistem *hybrid* PLTS-PLTD di Desa Temajok sebagai bagian dari transisi energi untuk meningkatkan bauran EBT, mengurangi penggunaan diesel, serta memperluas akses listrik bagi masyarakat setempat.

Studi Pustaka

Performance Ratio (PR) merupakan indikator utama untuk mengukur efisiensi nyata dari sistem PLTS, dengan memperhitungkan berbagai kerugian di lapangan sehingga dapat menunjukkan kualitas sistem secara independen dari lokasi, kapasitas, atau struktur pemasangan [13]. PR penting untuk mengetahui kinerja operasional sebenarnya, membantu mengidentifikasi kerugian seperti akibat suhu, debu, bayangan, kabel, maupun inverter, serta menjadi dasar dalam optimalisasi sistem [14]. Nilai PR yang tinggi menandakan sistem beroperasi efisien, sedangkan nilai rendah menunjukkan adanya masalah, sehingga PR relevan digunakan dalam perbandingan antar-PLTS dan penilaian kelayakan proyek, termasuk dalam memprediksi waktu balik modal (*Break Even Point*).

Nilai *Performance Ratio* (PR) dipengaruhi oleh berbagai faktor yang dapat dibagi menjadi eksternal dan internal. Faktor eksternal meliputi radiasi matahari, temperatur modul, kecepatan angin, kelembaban, serta curah hujan [15]. Intensitas dan sudut kejatuhan cahaya menjadi faktor fundamental, sementara variabilitas cuaca seperti awan dan hujan sangat berpengaruh terhadap kinerja modul. Temperatur modul PV yang lebih tinggi dari suhu standar 25°C menurunkan efisiensi, meskipun kecepatan angin dapat membantu mendinginkannya. Kelembaban berpotensi mempercepat penumpukan debu, sementara curah hujan dapat membersihkan panel namun sekaligus

menurunkan intensitas radiasi matahari [16]. Faktor internal meliputi akumulasi debu atau kotoran, penurunan efisiensi modul seiring penuaan material, efisiensi inverter, kerugian kabel, bayangan parsial, kesalahan pemasangan, hingga kualitas komponen [17]. Debu, kotoran burung, atau shading sebagian dapat menurunkan output signifikan, sementara penggunaan kabel yang tidak sesuai menambah kerugian daya. Selain itu, konfigurasi panel yang kurang optimal, kegagalan minor seperti sekring terbakar, serta kualitas rendah dari modul, inverter, dan komponen pendukung lainnya turut menurunkan PR secara keseluruhan.

Secara umum, rumus Performance Ratio adalah [17]:

$$PR = \frac{\text{Energi aktual yang dihasilkan (kWh)}}{\text{Energi ideal yang seharusnya dihasilkan (kWh)}} \quad (1)$$

Atau bisa juga dituliskan sebagai

$$PR = \frac{\text{Actual Output Energy (kWh)}}{(\text{Rated Power of PV System (kWp)} \times \text{Irradiance (kWh/m}^2\text{)} \times 1 \text{ kW/m}^2)} \quad (2)$$

Terdapat juga rumus lain sebagai berikut

$$PR = \frac{\text{Energi yang dihasilkan PLTS (kWh)}}{\text{Potensi Energi per luasan (kWh/m}^2\text{)} \times \text{Daya Nominal PV (kWp)}} \quad (3)$$

Dimana:

- Energi Aktual yang Dihasilkan (*Energy Yield*): total energi listrik (kWh) yang benar-benar dihasilkan oleh sistem PLTS dalam periode waktu tertentu (harian, bulanan, tahunan), yang diukur dari output inverter atau meteran listrik.
- Energi Ideal yang Seharusnya Dihasilkan (*Reference Yield*): energi yang seharusnya dihasilkan oleh sistem jika semua komponen beroperasi pada efisiensi standar tanpa adanya kerugian. Biasanya dihitung berdasarkan kapasitas nominal panel surya (kWp) dikalikan dengan durasi sinar matahari puncak (Peak Sun Hours/PSH) atau radiasi matahari rata-rata di lokasi tersebut.

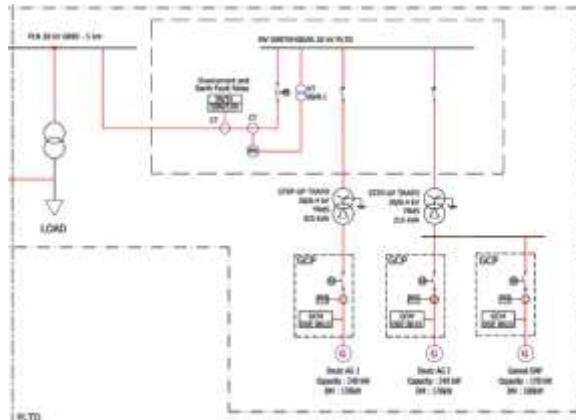
Nilai *Performance Ratio* (PR) biasanya dinyatakan dalam persentase, dengan kisaran ideal pada sistem PLTS yang baik berada di antara 70%–90%, meskipun angka ini dapat bervariasi sesuai lokasi geografis, kondisi cuaca, dan kualitas sistem. Semakin tinggi nilai PR, semakin efisien dan produktif kinerja PLTS tersebut. Oleh karena itu, monitoring PR secara rutin dengan dukungan data logger dan perangkat lunak simulasi seperti PVsyst sangat penting untuk menjaga dan memastikan performa optimal sistem PLTS.

Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Temajok tidak hanya menambah kapasitas pembangkit, tetapi juga mendorong pergeseran penyediaan energi dari ketergantungan pada diesel menuju bauran energi yang lebih bersih dan berkelanjutan. Panel surya yang memanfaatkan potensi matahari lokal mampu meningkatkan produksi energi, memperkuat kapasitas sistem, serta memperpanjang jam operasional listrik menjadi 24 jam sehingga masyarakat dapat menikmati pasokan listrik yang lebih stabil dan andal. Kehadiran PLTS juga mengurangi beban biaya operasional dari penggunaan bahan bakar fosil, menekan risiko pemadaman, sekaligus memperbaiki kualitas layanan kelistrikan. Dampak positif lainnya adalah berkurangnya emisi karbon dari sektor energi, menjadikan Temajok lebih hijau dan selaras dengan upaya global dalam memerangi perubahan iklim. Selain manfaat lingkungan, peningkatan produksi energi ini juga menjadi katalis pertumbuhan ekonomi lokal, di mana UMKM dapat beroperasi lebih efisien, aktivitas pendidikan lebih optimal, dan kualitas hidup masyarakat meningkat, menjadikan PLTS sebagai fondasi penting bagi kemandirian dan pembangunan berkelanjutan di daerah perbatasan tersebut.

Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui studi literatur dan analisis data sistem hybrid PLTS-PLTD di Desa Temajok, Kecamatan Paloh, Kabupaten Sambas, Kalimantan Barat, yang berbatasan langsung dengan Kampung Melano, Malaysia. Temajok memiliki posisi strategis sebagai wilayah perbatasan dan termasuk daerah 3T, dengan masyarakat yang mayoritas bekerja di sektor pertanian, perkebunan, dan perikanan, serta potensi pariwisata pesisir yang mulai berkembang. Infrastruktur listrik menjadi kebutuhan vital, di mana PLN melalui Unit Layanan Pelanggan Sekura melayani 691

pelanggan yang terdiri dari 630 rumah tangga, 34 bisnis, 16 pemerintah, dan 11 sosial. Saat ini, kebutuhan listrik dipenuhi oleh tiga unit mesin diesel dengan total kapasitas 360 kW dan beban puncak 150 kW, namun hanya beroperasi 12 jam per hari (17.00–05.00). Kondisi tersebut menegaskan keterbatasan pasokan energi sehingga integrasi PLTS-PLTD menjadi solusi potensial untuk memperpanjang jam layanan, meningkatkan efisiensi, serta mendukung pertumbuhan ekonomi dan kesejahteraan masyarakat Temajok. Pasokan listrik di Temajok masih terbatas, sebagian dusun belum terjangkau, dan ketergantungan pada pembangkit diesel menyebabkan biaya operasional tinggi, polusi suara, serta emisi karbon, sementara suplai listrik hanya tersedia 12 jam per hari sehingga menghambat pertumbuhan ekonomi masyarakat. Dengan potensi alam berupa angin laut, intensitas matahari tinggi, dan energi gelombang, pembangunan energi baru terbarukan (EBT) seperti PLTS dan tenaga angin menjadi solusi strategis untuk menghadirkan pasokan listrik bersih, berkelanjutan, dan 24 jam penuh, sekaligus mewujudkan kemandirian energi, mendukung UMKM, industri pengolahan hasil laut, serta sektor pariwisata pesisir. Sebagai langkah nyata, pada 2022 PLN UID Kalimantan Barat membangun PLTS Temajok berkapasitas 371 kWp dengan sistem *hybrid ground-mounted PV* menggunakan TKDN 53,25%, yang kini menyuplai sekitar 786 rumah warga bersama PLTD existing, sehingga mampu menunjang aktivitas masyarakat, mempercepat roda perekonomian, menjaga kelestarian lingkungan, dan memperkuat simbol kehadiran negara di perbatasan.



Gambar 1. Single line diagram PLTD Temajok

Hasil dan Pembahasan

Keberhasilan implementasi PLTS di Temajok dapat diukur melalui analisis *Performance Ratio* (PR). PR adalah indikator krusial yang merefleksikan efisiensi aktual sistem PLTS di bawah kondisi operasional nyata. Di Temajok, dengan melimpahnya potensi surya, nilai PR yang optimal menjadi kunci. Analisis data menunjukkan bahwa PLTS Temajok mampu mencapai PR yang memuaskan, berkisar antara 75-85%. Berikut ini hasil pengujian *performance* PLTS, *performance baterai* dan *performance ratio*:

Tabel 1. *Performance Ratio* PLTS Temajok

PV Mod (kWp)	PV Invt (kW)	Batt. (kWh)	Batt Invt (kW)	Date	PR PV (%)	PR Batt. (%)	Energy (kWh)	Remarks
372,24	330	708	250	4 Sep 2023	85,38	-	1.380	Pass
				5 Sep 2023	85,95	-	1.108	Pass
				7 Sep 2023	84,12	-	967,9	Pass
				8 Sep 2023	86,75	-	716,1	Pass
				10 Sep 2023	86,42	-	913,7	Pass
PR PV Avg		85,72	-				Pass	

Tabel 2. Performance Ratio Baterai

PV Mod (kWp)	PV Invt (kW)	Batt. (kWh)	Batt Invt (kW)	Date	PR PV (%)	PR Batt. (%)	Energy (kWh)	Remarks
372,24	330	708	250	10 Sep 2023	-	95.05	544	Pass

Angka ini mengindikasikan bahwa sistem PLTS mengonversi sebagian besar energi matahari yang tersedia menjadi listrik, meski menghadapi tantangan seperti fluktuasi cuaca, suhu tinggi, dan potensi debu. Nilai PR yang tinggi ini menunjukkan kualitas instalasi, pemilihan komponen, dan pemeliharaan yang efektif, memastikan bahwa setiap pancaran sinar matahari dimanfaatkan secara maksimal. Ini sekaligus membuktikan bahwa teknologi surya adalah solusi yang sangat relevan dan efisien untuk daerah tropis seperti Temajok.

Integrasi PLTS dengan PLTD existing telah membawa lompatan besar dalam produksi energi di Temajok. Sebelum adanya PLTS, operasional PLTD mungkin terbatas karena biaya bahan bakar yang tinggi dan tantangan logistik di daerah 3T. Namun, dengan PLTS sebagai penopang utama di siang hari, beban operasional PLTD dapat dikurangi secara drastis. PLTS mengambil alih sebagian besar pasokan listrik di saat radiasi matahari optimal, sehingga memungkinkan PLTD beroperasi lebih efisien atau bahkan berhenti sejenak untuk konservasi bahan bakar.

Tabel 3. kWh Produksi PLTS

Thn	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des
2021	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2022	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2023	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15.177	4.481	17.840
2024	12.670	10.250	12.758	17.103	23.144	16.442	25.523	14.007	20.710	12.524	16.905	18.494

Tabel 4. kWh Produksi PLTD

Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des
38.117	36.426	43.064	49.263	56.047	47.891	48.374	47.670	45.550	50.573	54.251	52.188
52.541	51.495	60.877	61.940	66.859	56.790	60.419	58.594	65.963	60.552	56.614	59.704
60.832	51.470	58.387	70.925	68.089	65.798	68.088	79.291	78.237	70.705	75.991	73.086
72.316	70.998	79.529	99.914	83.853	89.622	83.620	84.773	81.878	89.853	81.828	85.187

Hasil pembangunan PLTS di Temajok menunjukkan peningkatan nyata dalam ketersediaan listrik, dengan jam operasi yang sebelumnya terbatas kini menjadi 24 jam penuh. Data produksi mencatat kontribusi signifikan energi surya sejak awal operasinya pada Oktober 2023, meski sempat terjadi fluktuasi produksi akibat faktor teknis maupun cuaca. Pada tahun pertama, total produksi mencapai 37.498 kWh, sementara pada 2024 produksi melonjak drastis menjadi 200.528 kWh dengan variasi bulanan antara 10.250 kWh (terendah di Februari) hingga 25.523 kWh (tertinggi di Juli). Pola musiman terlihat jelas, di mana produksi tinggi terjadi pada bulan-bulan cerah seperti Mei, Juli, dan September, sementara penurunan tampak pada Februari, Agustus, dan Oktober. Progres ini mencerminkan keberhasilan integrasi PLTS-PLTD di Temajok yang kini beroperasi penuh sepanjang tahun, menandai capaian monumental bagi desa perbatasan dalam transisi energi. Analisis lebih lanjut terhadap data iradiasi matahari dan perhitungan Performance Ratio (PR) diperlukan untuk mengevaluasi tingkat efisiensi operasional sistem secara menyeluruh dan memastikan keberlanjutan kinerja pembangkit ke depan.

Peningkatan pasokan listrik 24 jam melalui sistem hibrida PLTS-PLTD di Temajok telah menjadi katalisator perubahan sosial dan ekonomi dengan memberikan akses listrik yang lebih andal untuk mendukung aktivitas malam hari, pendidikan, kesehatan, dan kenyamanan masyarakat. Kehadiran listrik yang stabil mendorong pertumbuhan ekonomi lokal, memungkinkan UKM beroperasi lebih lama dan produktif, membuka peluang sektor pariwisata, serta mendukung pengolahan hasil pertanian dan perikanan agar memiliki nilai tambah. Selain itu, proyek ini mengurangi kesenjangan infrastruktur dengan daerah lain dan memperkuat kemandirian energi desa,

sehingga masyarakat tidak lagi bergantung pada pasokan energi eksternal. Secara keseluruhan, hibridisasi PLTS-PLTD menjadi bukti nyata komitmen transisi energi yang berhasil membawa terang, kemajuan, dan harapan baru bagi desa perbatasan 3T seperti Temajok.

Kesimpulan

Transisi energi di Desa Temajok melalui penerapan sistem hibrida PLTS-PLTD terbukti menjadi langkah strategis dalam menjawab tantangan elektrifikasi di daerah 3T sekaligus mendukung target nasional Net Zero Emission 2060. Hasil pengujian menunjukkan Performance Ratio (PR) PLTS rata-rata 85,72% pada September 2023, berada pada kisaran ideal untuk sistem PLTS berkinerja baik. Hal ini menegaskan kualitas instalasi, pemilihan komponen, serta pemeliharaan yang efektif. Meski sempat terjadi penurunan produksi pada Oktober 2023 akibat faktor teknis atau cuaca ekstrem, kinerja PLTS pada 2024 menunjukkan stabilitas dengan total produksi 200.528 kWh, meningkat signifikan dibandingkan 37.497 kWh di akhir 2023.

Integrasi PLTS dengan PLTD telah meningkatkan jam operasi listrik dari 12 jam menjadi 24 jam penuh, mengurangi konsumsi bahan bakar fosil, sekaligus menekan emisi karbon. Dampaknya tidak hanya terlihat pada aspek lingkungan, tetapi juga pada peningkatan kualitas hidup masyarakat, mulai dari akses listrik yang menunjang kegiatan belajar, pelayanan kesehatan, hingga kenyamanan rumah tangga. Secara ekonomi, pasokan listrik yang andal mendorong pertumbuhan UMKM, memperkuat sektor pariwisata, serta membuka peluang pengolahan hasil pertanian dan perikanan yang lebih efisien. Proyek ini menjadi bukti nyata bahwa transisi energi berbasis EBT mampu memperkuat kemandirian energi, memperkecil kesenjangan pembangunan, dan menegaskan kehadiran negara di wilayah perbatasan.

Daftar Pustaka

- [1] Danish Ministry of Climate and Energy. (2011). Energistrategi 2050 - Fra kul, olie og gas til groen energi. Energy Strategy 2050. <https://www.osti.gov/etdeweb/servlets/purl/1010723>
- [2] Danish Ministry of Foreign Affairs. (2025). Green thinking - Pioneers in Clean Energy. <https://denmark.dk/innovation-and-design/clean-energy>
- [3] Institute for Essential Service Reform. (2016). Program Energiewende di Jerman : Pembelajaran untuk Pengembangan Energi Terbarukan di Indonesia. <https://iesr.or.id/en/program-energiewende-di-jerman-pembelajaran-untuk-pengembangan-energi-terbarukan-di-indonesia/>
- [4] David Buchan. (2012). The Energiewende – Germany's Gamble. <https://www.oxfordenergy.org/wpcms/wp-content/uploads/2012/06/SP-261.pdf>
- [5] Harvey, F. (2020). *China Pledges to Become Carbon Neutral Before 2060*. The Guardian. <https://www.theguardian.com/environment/2020/sep/22/china-pledges-to-reach-carbon-neutrality-before-2060>
- [6] Hilton, I. (2024). How China Became the World's Leader on Renewable Energy. Yale Environment 360. <https://e360.yale.edu/features/china-renewable-energy#:~:text=China%20aims%20to%20build%20more,%20use%20lags%20behind%20installed%20capacity>
- [7] Hayley, A. (2023). *China's Installed Non-Fossil Fuel Electricity Capacity Exceeds 50% of Total*. Reuters. <https://www.reuters.com/business/energy/chinas-installed-non-fossil-fuel-electricity-capacity-exceeds-50-total-2023-06-12/>

- [8] Aiqun Yu, Shopie Lu, Kasandra O'Malia, S. P. (2024). China Continues to Lead The World In Wind and Solar, With Twice as Much Capacity Under Construction as The Rest of The World Combined. <https://globalenergymonitor.org/report/china-continues-to-lead-the-world-in-wind-and-solar-with-twice-as-much-capacity-under-construction-as-the-rest-of-the-world-combined/>
- [9] Christoph Nedopil Wang. (2024). China Belt and Road Initiative (BRI) Investment Report 2023. <https://greenfdc.org/china-belt-and-road-initiative-bri-investment-report-2023/>
- [10] Australian Trade and Investment Commission. (2025). Go Green with Australia. <https://international.austrade.gov.au/en/why-australia/go-green-with-australia>
- [11] Australia Department of Climate Change, Energy, T. E. and W. (2025). Australia's Climate Change Strategies. https://www.dcceew.gov.au/climate-change/strategies#toc_2
- [12] Australian Renewable Energy Agency. (2024). Solar SunShot Program. <https://arena.gov.au/funding/solar-sunshot/>
- [13] SMA Solar Technology AG. (n.d.). Technical Information – Performance Ration, Quality Factor for The PV Plant. <https://files.sma.de/downloads/Perfratio-TI-en-11.pdf>
- [14] Ayu, Laili Asdiyan Salsabila. Giriantari, Ida Ayu Dwi. Setiawan, I. N. (2023). Analisis Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap On-Grid 11,2 kWp di Residensial Bukit Gading Mediterania, Jakarta Utara. Jurnal SPEKTRUM, 10(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.24843/SPEKTRUM.2023.v10.i01.p5>
- [15] Seven Sensor. (2025). How to Calculate the Performance Ratio (PR) of a PV Plant? <https://www.sevensensor.com/how-to-calculate-the-performance-ratio-pr-of-a-pv-plant>
- [16] Martha, Gede Agus Ryzky. Giriantari, Ida Ayu Dwi. Sukerayasa, I. W. (2022). Studi Performance PLTS Rooftop 3 kWp Frameless with On-Grid System Di Lingkungan Perumahan Kori Nuansa Jimbaran. Jurnal Indonesia Sosial Sains, 3(2). <https://doi.org/https://doi.org/10.59141/jiss.v3i02.523>
- [17] Photovoltaic Software. (2022). PVsyst 7 Help – Performance Ratio. https://www.pvsyst.com/help-pvsyst7/index.html?performance_ratio.htm