

Literature Review : Metode Evaluasi Performa Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Indoensia

Mukhtar Hadi¹ dan Imam Syaukani²

^{1,2} Program Studi Teknik Sistem Energi, Fakultas Rekayasa Sistem, Universitas Teknologi Sumbawa
Jl. Raya Olat Maras Batu Alang, Pernek, Kec. Moyo Hulu, Kabupaten Sumbawa, Nusa Tenggara Bar. 84371¹², 84731
mukhtar.hadi@uts.ac.id

Abstrak— Energi terbarukan telah menjadi fokus utama dalam upaya global untuk mengatasi perubahan iklim dan mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil yang terbatas. Di antara solusi energi terbarukan, Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) telah muncul sebagai alternatif yang menjanjikan, memanfaatkan sinar matahari untuk menghasilkan listrik yang bersih dan berkelanjutan. Dengan kemajuan teknologi panel surya dan sistem konversi energi, PLTS telah terbukti menjadi sumber energi yang efisien dan ramah lingkungan, yang semakin banyak diadopsi di berbagai belahan dunia, baik untuk pembangkit listrik skala besar komersial maupun kebutuhan rumah tangga skala kecil. Namun, keberhasilan implementasi PLTS sangat bergantung pada desain, operasi, dan pemeliharaannya. Evaluasi performa memainkan peran penting dalam memastikan sistem ini berfungsi secara optimal, memenuhi target energi, dan meminimalkan masalah seperti penurunan efisiensi atau kerusakan sistem. Makalah ini bertujuan untuk mengkaji berbagai metode evaluasi performa PLTS, termasuk pendekatan analitis, teknik berbasis perangkat lunak, dan sistem pemantauan langsung. Makalah ini menyoroti kelebihan dan kekurangan masing-masing metode, memberikan wawasan yang berharga bagi peneliti, praktisi, dan pembuat kebijakan.. Terakhir, makalah ini mengusulkan arahan penelitian di masa depan, menekankan perlunya pendekatan multidisipliner, data lapangan yang lebih luas, dan integrasi teknologi baru seperti IoT untuk meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Indonesia.

Kata kunci : Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), Evaluasi Performa PLTS, Energi Terbarukan Indonesia,

Abstract— Renewable energy has become a key focus in global efforts to address climate change and reduce dependence on limited fossil fuel resources. Among renewable energy solutions, Solar Power Plants (SPPs) have emerged as a promising alternative, harnessing sunlight to generate clean and sustainable electricity. With advancements in solar panel technology and energy conversion systems, SPPs have proven to be an efficient and environmentally friendly energy source, increasingly adopted worldwide for both large-scale commercial power generation and small-scale household needs. However, the successful implementation of SPPs heavily depends on their design, operation, and maintenance. Performance evaluation plays a crucial role in ensuring these systems function optimally, meet energy targets, and minimize issues such as efficiency loss or system failures. This paper aims to examine various methods of SPP performance evaluation, including analytical approaches, software-based techniques, and direct monitoring systems. It highlights the advantages and limitations of each method, providing valuable insights for researchers, practitioners, and policymakers. Finally, this paper proposes future research directions, emphasizing the need for multidisciplinary approaches, broader field data, and the integration of new technologies such as IoT to enhance the efficiency and sustainability of Solar Power Plants in Indonesia.

Keywords : Solar Power Plant (SPP), Solar Power Plant Performance Evaluation, Indonesia's, Renewable Energy

I. PENDAHULUAN

Energi Energi terbarukan telah menjadi fokus utama dalam upaya global untuk mengatasi tantangan perubahan iklim dan mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil yang terbatas atau kebutuhan gas bumi yang semakin berkurang setiap saat. Salah satu solusi yang sangat menjanjikan dalam konteks

penyediaan energi terbarukan adalah Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), dengan salah satu target besar kementerian ESDM adalah 3.6 GigaWatt PLTS terpasang di tahun 2025. PLTS memanfaatkan sinar matahari sebagai sumber energi yang bersih dan tidak terbatas untuk menghasilkan listrik. Dengan kemajuan teknologi panel surya dan sistem konversi energi,

PLTS kini dapat diandalkan sebagai sumber energi yang efisien dan ramah lingkungan [1]. Adopsi PLTS semakin meluas di berbagai belahan dunia, baik dalam skala besar untuk pembangkit listrik komersial maupun skala kecil untuk kebutuhan rumah tangga. Keberadaan PLTS berperan penting dalam upaya diversifikasi sumber energi, mengurangi emisi karbon, serta mendukung transisi menuju sistem energi yang lebih berkelanjutan [2].

Namun, meskipun PLTS menawarkan banyak manfaat, keberhasilan implementasinya sangat bergantung pada bagaimana sistem ini dirancang, dioperasikan, dan dipelihara. Evaluasi performa PLTS menjadi aspek krusial untuk memastikan bahwa sistem ini berfungsi dengan optimal dan mampu memenuhi target energi yang telah ditetapkan. Evaluasi performa melibatkan serangkaian analisis dan pengukuran untuk menilai efisiensi sistem, mengidentifikasi potensi masalah, serta mengoptimalkan kinerja agar hasil yang dicapai sesuai dengan ekspektasi. Tanpa evaluasi yang tepat, masalah seperti penurunan efisiensi atau kerusakan sistem bisa terabaikan, yang pada gilirannya dapat mengurangi keuntungan dan dampak positif yang diharapkan dari penggunaan PLTS. Oleh karena itu, proses evaluasi performa tidak hanya penting untuk memastikan bahwa PLTS beroperasi dengan baik, tetapi juga untuk mendukung pengembangan teknologi yang lebih baik dan arah kebijakan energi beserta sumber daya alam yang dimiliki dengan efektif di masa depan [3].

Dalam Makalah ini, tujuan utama adalah untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi berbagai metode yang digunakan untuk menilai performa sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Dengan meningkatnya penggunaan PLTS di berbagai sektor, penting untuk memiliki pemahaman yang komprehensif mengenai metode evaluasi performa yang ada. Makalah ini bertujuan untuk menyajikan tinjauan yang mendalam tentang teknik-teknik yang berbeda dalam menilai efisiensi, efektivitas, dan keberlanjutan sistem PLTS. Fokus utama dari Makalah ini adalah untuk mengeksplorasi berbagai pendekatan evaluasi, mulai dari metode analitis hingga teknik berbasis perangkat lunak, serta menilai kelebihan dan kekurangan masing-masing metode. Dengan memahami berbagai metode evaluasi yang ada, diharapkan Makalah ini dapat memberikan wawasan yang berguna bagi para peneliti, praktisi, dan pengambil kebijakan dalam memilih metode yang paling sesuai untuk tujuan evaluasi mereka.

Makalah ini akan mencakup beberapa aspek penting terkait evaluasi performa sistem PLTS. Pertama, akan dibahas berbagai teknik evaluasi performa yang telah diterapkan dalam praktik, termasuk metode berbasis data historis, simulasi, serta pendekatan berbasis pemantauan langsung. Kedua, Makalah ini akan mengidentifikasi parameter-parameter utama yang digunakan dalam evaluasi

performa, seperti efisiensi konversi energi, faktor kapasitas, dan kinerja sistem dalam kondisi operasional yang berbeda. Selain itu, Makalah ini akan membahas tantangan-tantangan yang sering dihadapi dalam praktik evaluasi performa, seperti akurasi data, variabilitas cuaca, dan kompleksitas sistem, serta solusi yang telah diusulkan untuk mengatasi tantangan tersebut. Dengan cakupan ini, Makalah ini bertujuan untuk memberikan gambaran yang komprehensif tentang teknik-teknik evaluasi, parameter yang relevan, serta tantangan dan solusi dalam praktik evaluasi performa PLTS

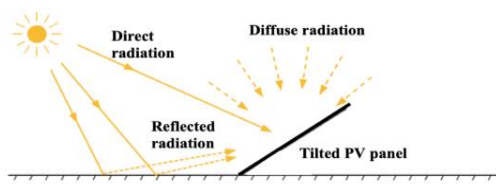
II. STUDI PUSTAKA

A. Parameter Evaluasi Performa

a) Irradiance

Irradiance adalah parameter fundamental dalam evaluasi performa sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Pengukuran irradiance mengacu pada intensitas cahaya matahari yang diterima oleh panel surya pada satuan waktu dan area tertentu. Unit yang digunakan untuk mengukur irradiance adalah Watt per meter persegi (W/m^2). Intensitas cahaya matahari ini sangat mempengaruhi jumlah energi yang dapat dikonversi menjadi listrik oleh panel surya. Pengukuran irradiance dilakukan menggunakan alat seperti pyranometer atau sensor cahaya yang diposisikan secara optimal untuk mencerminkan kondisi cahaya matahari yang diterima panel. Dengan mengetahui tingkat irradiance, kita dapat mengestimasi potensi energi yang bisa dihasilkan oleh PLTS pada berbagai waktu dan kondisi cuaca, serta menilai apakah panel surya beroperasi pada kapasitas yang diharapkan.

Istilah "radiasi surya global" mengukur jumlah radiasi matahari yang jatuh pada permukaan datar di bumi. Namun, dalam menganalisis kinerja sistem PV dan memodelkan susunan PV, istilah "irradiasi bidang susunan" lebih sering digunakan. Istilah ini mengukur jumlah sinar matahari yang jatuh pada panel PV dan terdiri dari radiasi langsung, radiasi difus, dan radiasi terpantul seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Radiasi langsung adalah sinar matahari yang jatuh langsung ke panel PV, radiasi ini paling kuat pada hari yang cerah. Radiasi difus adalah radiasi matahari yang tersebar di atmosfer oleh awan, molekul, dan partikel, sehingga tidak datang dari satu arah tertentu tetapi dari seluruh langit, dan lebih tinggi pada hari yang berawan. Radiasi terpantul adalah radiasi matahari yang memantul dari permukaan lain, seperti tanah, sebelum mencapai panel dan biasanya lebih tinggi ketika ada salju atau permukaan reflektif lainnya



Gambar 1 Pantulan Radiasi Matahari

b) Efisiensi Konversi Energi

Efisiensi konversi energi adalah parameter yang mengukur seberapa efektif panel surya mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik. Parameter ini dinyatakan sebagai rasio antara energi listrik yang dihasilkan oleh panel dan energi cahaya matahari yang diterima oleh panel, biasanya dinyatakan dalam persentase. Efisiensi ini dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti kualitas panel surya, sudut pemasangan, dan kondisi lingkungan. Dengan menghitung efisiensi konversi energi, kita dapat menentukan seberapa baik panel surya berfungsi dalam mengubah energi matahari menjadi listrik, serta mengidentifikasi potensi perbaikan dalam desain atau pengoperasian sistem.

c) Rasio Performa (Performance Ratio)

Rasio performa adalah metrik yang digunakan untuk menilai kinerja sistem PLTS dengan membandingkan output energi aktual dengan potensi teoritis maksimal yang dapat dicapai oleh sistem dalam kondisi ideal. Rasio ini dihitung dengan membagi energi listrik yang dihasilkan oleh sistem selama periode tertentu dengan energi maksimum yang dapat dihasilkan berdasarkan irradiance yang diterima dan kapasitas panel surya. Performance ratio memberikan gambaran tentang efektivitas sistem secara keseluruhan dan mengindikasikan apakah ada faktor-faktor eksternal atau internal yang mempengaruhi performa PLTS dibandingkan dengan ekspektasi teoritisnya.

Terkait “bahan bakarnya”, PLTS berbeda dengan sistem pembangkit listrik konvensional lainnya. Bahan bakar yang menjadi input PLTS adalah “sinar matahari”, yang bervariasi dan tidak dapat dikontrol oleh operator pembangkit. Oleh karena itu, menghitung “faktor kapasitas” dari suatu sistem PLTS menjadi tidak informatif karena kemungkinan faktor kapasitas yang rendah di bulan tertentu dapat disebabkan oleh kinerja PLTS yang buruk atau karena sinar matahari yang tidak cukup pada bulan tersebut.

Untuk memisahkan efek kinerja PLTS dari variasi sinar matahari, kita perlu mengetahui berapa banyak cahaya matahari yang diterima PLTS. Kita dapat mengukurnya dengan menggunakan sensor iradians yang dipasang di sistem PLTS. Sensor iradians ini umumnya dipasang di bidang larik PLTS dan terhubung dengan sistem pengumpulan data (yang kadang dikenal sebagai sistem SCADA).

Dengan mengetahui jumlah energi matahari yang diterima oleh PLTS dalam periode tertentu (misalnya satu bulan), kita dapat menghitung Performance Ratio (PR) dari PLTS pada bulan tersebut. Caranya adalah dengan membagi output energi aktual pada bulan tersebut, E_{output} (kWh), dengan insiden energi matahari di periode yang sama, H_{POA} (Wh/m²).

Jika kita menormalisasi nilai ini dengan kapasitas yang tertera pada plat nama dari sistem PLTS, P_{STC} (kW), dan nilai iradians pada saat kapasitas plat nama diukur dalam Standard Test Conditions (STC), G_{STC} (W/m²) yaitu 1000 W/m², kita mendapatkan Performance Ratio (PR) dari suatu sistem PLTS dalam periode tersebut.

Dalam notasi matematika dapat dituliskan:

$$PR = \frac{\left(\frac{E_{\text{output}}}{H_{\text{POA}}} \right)}{\left(\frac{P_{\text{STC}}}{G_{\text{STC}}} \right)}$$

dimana:

PR : Performance Ratio (%)

E_{output} : output energi aktual pada suatu periode (kWh)

H_{POA} : Insiden energi matahari di periode sama (Wh/m²)

P_{STC} : Kapasitas pada plat nama dari PLTS (kW)

G_{STC} : Nilai iradians pada saat kapasitas plat nama diukur dalam keadaan standard Test Conditions (STC) (pada kondisi STC nilai $G_{\text{STC}} = 1000$ W/m²) (W/m²)

PR dinyatakan dalam bentuk persentase, atau hanya dengan nilai di antara 0 dan 1. Akan lebih mudah dipahami jika kita melihat Performance Ratio sebagai perbandingan antara output aktual dari PLTS dengan output maksimum yang mungkin secara teori untuk jumlah sinar matahari yang diterima oleh PLTS dalam waktu tertentu.

Terdapat beberapa cara berbeda untuk menyatakan Performance Ratio, sebagaimana digambarkan dalam standar internasional IEC 61724-1. Salah satu contohnya adalah PR sebagai rasio dari hasil akhir (final yield) PLTS dibandingkan dengan hasil referensi (reference yield). Semua pernyataan mengenai PR tersebut secara matematis ekuivalen. Menurut penulis, definisi Performance Ratio yang digunakan dalam dokumen ini lebih intuitif dibandingkan dengan pernyataan dalam standar yang menggunakan istilah “reference yield” dan “final yield”.

d) Degradasi

Degradasi adalah analisis terhadap penurunan performa panel surya seiring dengan bertambahnya waktu penggunaan. Selama masa operasionalnya, panel surya mengalami penurunan efisiensi yang disebabkan oleh berbagai faktor seperti penuaan material, kerusakan fisik, dan akumulasi kotoran.

Degradasi diukur dengan memantau penurunan output energi dari waktu ke waktu dan membandingkannya dengan nilai awal. Pemantauan degradasi penting untuk memahami seberapa cepat panel surya kehilangan performanya dan untuk merencanakan pemeliharaan atau penggantian panel untuk menjaga kinerja sistem dalam jangka panjang.

B. Teknik Evaluasi Performa

a) Pengukuran Langsung

Pengukuran langsung adalah teknik dasar yang digunakan untuk mengevaluasi performa PLTS melalui pengukuran fisik dan data nyata dari sistem. Teknik ini melibatkan penggunaan sensor irradiance untuk mengukur intensitas cahaya matahari, data logger untuk merekam output energi listrik dari panel surya, dan termometer untuk memantau suhu panel. Dengan mengumpulkan data secara langsung dari sistem, kita dapat mendapatkan informasi akurat tentang kinerja PLTS dalam kondisi aktual, serta mengidentifikasi potensi masalah seperti penurunan efisiensi akibat suhu tinggi atau kotoran pada panel.

b) Modeling dan Simulasi

Modeling dan simulasi adalah teknik yang lebih kompleks yang menggunakan perangkat lunak untuk mensimulasikan kinerja PLTS berdasarkan berbagai input seperti kondisi cuaca, orientasi panel, dan efisiensi komponen. Teknik ini melibatkan pembuatan model matematis dari sistem PLTS dan menjalankan simulasi untuk memprediksi performa dalam berbagai skenario. Simulasi ini dapat membantu dalam perencanaan desain sistem, analisis potensi peningkatan kinerja, serta evaluasi dampak dari perubahan dalam kondisi operasional atau desain.

c) Analisis Data Historis

Analisis data historis adalah metode yang melibatkan evaluasi data performa PLTS dari periode waktu yang panjang untuk mendeteksi pola dan tren. Dengan menganalisis data yang dikumpulkan selama bertahun-tahun, kita dapat mengidentifikasi tren jangka panjang dalam performa sistem, seperti pola degradasi atau dampak dari kondisi cuaca ekstrim. Teknik ini juga dapat digunakan untuk membandingkan performa antara berbagai sistem atau lokasi, serta untuk membuat proyeksi tentang performa masa depan berdasarkan data yang ada.

C. Metode Pengukuran dan Alat

a) Alat Ukur

Untuk melakukan evaluasi performa sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), sejumlah alat ukur dan perangkat pengukuran digunakan untuk mendapatkan data yang diperlukan dalam analisis performa. Beberapa alat ukur yang umum digunakan meliputi:

- **Sensor Irradiance**

Sensor irradiance, seperti pyranometer atau silicon photodiode, digunakan untuk

mengukur intensitas cahaya matahari yang diterima oleh panel surya. Sensor ini biasanya dipasang di lokasi yang sama dengan panel surya atau di dekatnya untuk memastikan pengukuran irradiance yang akurat. Hasil pengukuran dari sensor irradiance memberikan data tentang energi matahari yang tersedia, yang penting untuk menentukan potensi energi yang dapat dihasilkan oleh PLTS.



Gambar 6 Contoh gambar dari dua tipe sensor irradians: (a) pyranometer, (b) sensor silicon.

Gambar 2 Sensor Iradiasi

- **Alat Ukur Energi**

Alat ukur energi, seperti meter energi atau data logger energi, digunakan untuk mengukur jumlah energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya. Alat ini mengukur parameter seperti tegangan, arus, dan daya listrik yang dihasilkan oleh sistem. Data yang diperoleh dari alat ini digunakan untuk menghitung output energi PLTS dan untuk membandingkan kinerja aktual dengan estimasi teoritis.



Gambar 7 Contoh gambar datalogger untuk memonitor Performance Ratio sistem PLTS. [Sumber gambar: <http://www.vitrus.com/>]

Gambar 3 Data Logger

- **Termometer**

Termometer digunakan untuk mengukur suhu panel surya selama operasional. Suhu panel mempengaruhi efisiensi konversi energi, sehingga pemantauan suhu merupakan bagian penting dari evaluasi performa. Termometer dapat berupa sensor suhu digital atau termometer infra merah yang mampu mengukur suhu permukaan panel surya tanpa kontak langsung.

- **Perangkat Pengukuran Efisiensi**

Perangkat pengukuran efisiensi, seperti alat ukur yang dapat menghitung parameter-parameter seperti efisiensi konversi energi, sering digunakan dalam evaluasi performa. Alat ini membantu dalam menghitung rasio antara energi matahari yang diterima dan energi listrik yang dihasilkan oleh sistem,

serta dalam menganalisis efisiensi keseluruhan dari panel surya.

b) *Perangkat Lunak*

Dalam evaluasi performa PLTS, berbagai perangkat lunak digunakan untuk pemantauan, analisis data, dan simulasi kinerja sistem. Perangkat lunak ini menyediakan alat yang canggih untuk analisis mendalam dan prediksi performa. Beberapa perangkat lunak yang umum digunakan meliputi:

- **PVsyst**

PVsyst adalah perangkat lunak simulasi yang digunakan untuk merancang dan menganalisis sistem PLTS. PVsyst menyediakan berbagai fitur untuk mensimulasikan kinerja sistem berdasarkan data cuaca, konfigurasi sistem, dan komponen. Perangkat lunak ini juga memungkinkan pengguna untuk melakukan analisis sensitivitas dan evaluasi potensi performa sistem dalam berbagai kondisi operasional.

-

- **SAM (System Advisor Model)**

SAM adalah perangkat lunak dari U.S. Department of Energy yang digunakan untuk mengevaluasi performa dan biaya proyek energi terbarukan, termasuk PLTS. SAM menyediakan alat untuk analisis teknis dan finansial dari proyek PLTS, termasuk pemodelan kinerja sistem, analisis sensitivitas biaya, dan proyeksi hasil investasi. Perangkat lunak ini membantu pengguna dalam merancang sistem yang optimal dan dalam melakukan perencanaan proyek yang lebih efektif.

-

- **MATLAB/Simulink**

MATLAB/Simulink adalah platform perangkat lunak yang sering digunakan untuk modeling, simulasi, dan analisis data. Dalam konteks PLTS, MATLAB/Simulink dapat digunakan untuk membuat model matematis dari sistem PLTS, menjalankan simulasi berbagai skenario operasional, dan menganalisis data performa yang dihasilkan dari eksperimen atau pengukuran. Perangkat lunak ini menawarkan fleksibilitas dalam pengembangan algoritma analisis dan visualisasi hasil simulasi

kinerja, efisiensi, dan kelayakan sistem PLTS, yang mencerminkan kebutuhan penelitian berbasis kontekstual dan tujuan spesifik. Artikel ini mengulas berbagai penelitian yang menggunakan pendekatan berbeda, seperti simulasi perangkat lunak, eksperimen lapangan, observasi langsung, dan analisis finansial. Tujuannya adalah untuk mengidentifikasi persamaan dan perbedaan dalam metodologi yang diterapkan oleh setiap penelitian, serta memahami bagaimana metode tersebut memengaruhi hasil dan aplikasi praktis dari teknologi PLTS. Dengan analisis ini, diharapkan dapat diperoleh wawasan tentang keunggulan dan kelemahan pendekatan tertentu, serta peluang pengembangan metode baru yang lebih efektif dalam mendukung adopsi PLTS secara luas.

Beragam penelitian mengenai Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) telah dilakukan dengan pendekatan metodologis yang berbeda untuk mengevaluasi kinerja dan efisiensinya. Penelitian [4] menggunakan simulasi PVsyst untuk memprediksi kinerja PLTS berdasarkan variabilitas cuaca, sementara penelitian [5] fokus pada analisis finansial menggunakan metode NPV, PI, dan Payback Period. Pendekatan kombinasi antara eksperimen lapangan dan simulasi perangkat lunak diterapkan oleh penelitian [6] untuk mengevaluasi kinerja PLTS.

Penelitian terhadap sistem PLTS hybrid dilakukan oleh penelitian [4] dengan analisis radiasi matahari dan observasi langsung, sedangkan penelitian [7] mengevaluasi penghematan biaya pada PLTS On Grid. Studi berbasis observasi lapangan untuk mengevaluasi efisiensi PLTS dilakukan oleh penelitian [8], yang fokus pada analisis kapasitas dan efisiensi di area parkir PLTU.

Pendekatan berbasis sistem Smart Grid dibahas oleh penelitian [9], yang menganalisis kinerja berdasarkan data konsumsi energi dan efisiensi baterai. Penelitian [10] menekankan pengembangan sistem energi hibrid yang menggabungkan solar dan biogas. penelitian mengevaluasi efisiensi sistem PLTS On Grid dengan mengumpulkan data radiasi matahari dan profil beban energi harian, sedangkan penelitian [11] fokus pada desain dan analisis ekonomi PLTS komunal, termasuk pengurangan karbon.

Setiap penelitian ini memberikan perspektif unik, baik dari sisi teknis, finansial, maupun inovasi teknologi, untuk mendukung pengembangan dan implementasi PLTS yang lebih efisien dan berkelanjutan.

III. ANALISIS

A. Penelitian PLTS di Indonesia

Penelitian terkait Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) telah berkembang pesat seiring meningkatnya kebutuhan akan energi terbarukan. Beragam metode digunakan untuk mengevaluasi

Tabel 1. Penelitian Evaluasi Performa PLTS di Indonesia

No.	Penulis	Judul	Tujuan Penelitian	Metode	Hasil
1.	Sofyan Hermawan, Lela Nurpulaela (2024) [12]	<i>Penilaian Produktivitas Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terhadap Variabilitas Cuaca : Simulasi PVsys</i>	Penelitian ini menganalisis pengaruh cuaca terhadap produksi energi PLTS 5 kWp di Desa Buninagara, Bandung Barat, menggunakan simulasi PVsyst 7.3.0. Sistem menggunakan panel surya bersudut 20° menghadap utara, dengan variabilitas cuaca sebagai faktor utama.	Penelitian ini menggunakan simulasi PVsyst untuk merancang PLTS, mencakup pemilihan lokasi, kapasitas, jumlah panel, inverter, dan sudut kemiringan. Analisis mencakup iradiasi tahunan, data cuaca, dan parameter relevan lainnya.	Hasil simulasi PLTS 5 kWp di Buninagara, Bandung Barat, menunjukkan produksi energi tahunan sebesar 9896 kWh atau rata-rata 4.30 kWh/hari. Meskipun dipengaruhi losses system dan cuaca, produksi konsisten baik di musim hujan maupun kemarau, dengan normalized production mencapai 4.15 kWh/kWp/hari
2.	Eriyanto (2017) [5]	<i>Evaluasi Pemanfaatan PLTS Terpusat Siding Kabupaten Bengkayang</i>	Penelitian ini mengevaluasi kinerja PLTS Terpusat 40 kWp di Desa Siding, yang melayani 52 pelanggan dengan total beban 31.700 VA. Analisis mencakup daya keluaran, kapasitas komponen, dan kelayakan investasi menggunakan NPV, PI, serta Payback Period	Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif untuk mengevaluasi kinerja dan kelayakan investasi PLTS Terpusat Siding. Analisis meliputi pengukuran daya, evaluasi komponen, beban pelanggan, serta metode NPV, PI, dan Payback Period. Metode Life Cycle Costing (LCC) digunakan untuk menghitung biaya siklus hidup selama 25 tahun dan biaya energi per kWh, yang dibandingkan dengan BPP listrik PLN.	Evaluasi pemanfaatan PLTS Siding di Kabupaten Bengkayang menunjukkan beberapa temuan penting. Berdasarkan potensi energi matahari dan penggunaan energi di Kecamatan Siding, PLTS Siding menghasilkan daya sebesar 40.708,5 Wp dengan 204 panel surya berkapasitas 200 Wp.
3.	Yakobus Kariongan, Joni (2022) [6]	<i>Evaluasi Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terpusat 20 KWP di Kampung Ampas Distrik Waris Kabupaten Keerom</i>	Penelitian ini mengevaluasi PLTS di Kampung Ampas, Distrik Waris, Kabupaten Keerom, Papua, menggunakan simulasi HOMER. PLTS menghasilkan 18,4 kWh/hari dengan konsumsi harian 16 kWh. Produksi tahunan mencapai 29.229,2 kWh dengan rasio performa (PR) 81%, menunjukkan efisiensi yang baik untuk wilayah tanpa jaringan listrik PLN	Penelitian ini mengevaluasi performa PLTS di Kampung Ampas, Papua, melalui eksperimen lapangan dan simulasi HOMER. Pengukuran daya harian, konsumsi energi, dan kapasitas penyimpanan dianalisis untuk menghitung yield final (Yf), performance ratio (PR), biaya operasional, dan potensi biaya jangka panjang. Metode ini mengukur efisiensi teknis dan finansial PLTS di daerah terpencil	Kesimpulan penelitian menunjukkan bahwa PLTS di Kampung Ampas, Papua, mampu menyediakan listrik mandiri dengan produksi harian 18,4 kWh dan konsumsi 16 kWh. Total produksi tahunan mencapai 29.229,2 kWh dengan rasio performa 81%, mencerminkan efisiensi tinggi. Simulasi HOMER membantu mengidentifikasi biaya operasional dan keandalan sistem, menjadikan PLTS solusi berkelanjutan untuk daerah terpencil.
4.	Agung Febriana H, Elih Mulyana dan Bambang Trisno(2024) [1] [4]	<i>Evaluasi kinerja sistem pembangkit listrik tenaga surya Hybrid pada gedung centre of excellence universitas Pendidikan indonesia</i>	Penelitian ini mengevaluasi kinerja PLTS Hybrid di Gedung Centre of Excellence Universitas Pendidikan Indonesia, dengan PLTS 5,35 kWp dan PLTB 2 kW untuk kebutuhan penerangan 624 Watt. PLTS menghasilkan daya rata-rata 659,91 Watt/hari dengan efisiensi 18,52%, mencukupi beban selama 11 jam. PLTB, dengan efisiensi 25,9% dan produksi 12,89 Watt/hari, belum signifikan memenuhi kebutuhan. Tantangan teknis seperti radiasi rendah dan kecepatan angin suboptimal memerlukan pengembangan untuk meningkatkan efisiensi.	Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode deskriptif analitis. Data diperoleh melalui observasi langsung selama 7 hari pada Mei 2023, mencakup pengukuran intensitas radiasi matahari, kecepatan angin, produksi daya PLTS dan PLTB, serta performa baterai. Analisis dilakukan untuk mengevaluasi efisiensi sistem dan kontribusi masing-masing pembangkit terhadap konsumsi beban listrik harian, serta memberikan rekomendasi pengembangan sistem PLTS Hybrid di masa depan.	Penelitian ini menunjukkan bahwa PLTS di Gedung Centre of Excellence Universitas Pendidikan Indonesia memiliki performa 18,52% dengan rata-rata produksi harian 659,91 Watt, mampu memenuhi kebutuhan listrik selama 11 jam. Sementara itu, PLTB memiliki performa 25,9% dengan rata-rata produksi harian 12,89 Watt, namun kontribusinya terhadap konsumsi listrik masih rendah. Secara keseluruhan, PLTS lebih efektif dalam mendukung kebutuhan listrik, sementara PLTB memerlukan optimasi untuk meningkatkan efisiensinya.
5.	Suhardhika Sih Sudewanto Munawar Agus Riyadi (2022)	<i>Evaluasi Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya On Grid di Laboratorium B</i>	Penelitian ini mengevaluasi efisiensi dan potensi finansial pemasangan PLTS on-grid 8 kWp di PLN	Metode penelitian ini mengevaluasi pemasangan PLTS on-grid 8 kWp di Gedung Laboratorium B PLN	Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemasangan PLTS on-grid 8 kWp di PLN UPDL Pandaan berhasil menghemat biaya listrik

Tabel 1. Penelitian Evaluasi Performa PLTS di Indonesia

No.	Penulis	Judul	Tujuan Penelitian	Metode	Hasil
	[7]	<i>PLN UPDL Pandaan</i>	UPDL Pandaan. Hasilnya menunjukkan penghematan biaya listrik lebih dari 30% per tahun dan NPV positif, menjadikan investasi ini layak..	UPDL Pandaan. Penelitian meliputi perhitungan penghematan biaya listrik tahunan dan analisis finansial terkait potensi pelatihan EBT. Data dikumpulkan melalui pengukuran produksi energi dan analisis ekspor daya ke PLN. Evaluasi finansial dilakukan dengan menghitung Net Present Value (NPV) untuk menilai kelayakan investasi jangka panjang.	tahunan lebih dari 30%. Perhitungan finansial menunjukkan NPV positif dalam 5 tahun, menandakan investasi ini menguntungkan secara ekonomi. PLTS ini juga membuka peluang untuk pengembangan pelatihan terkait teknologi EBT, meningkatkan kompetensi pegawai, dan memperluas penerapan pembangkitan EBT di PLN serta di Indonesia.
6	Rakhmawan Putra1, Benhur Nainggolan, P. Jannus (2023) [8]	<i>Analisis dan Evaluasi performa Plts penerangan area parkir Pltu suralaya</i>	Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja PLTS di area parkir PLTU Suralaya yang digunakan untuk penerangan. Meskipun mendukung inisiatif energi terbarukan, PLTS ini kurang optimal, dengan baterai yang hanya bertahan kurang dari enam jam. Penelitian ini mengusulkan perbaikan komponen dan reposisi modul sesuai standar SNI 8395:2017 untuk meningkatkan kinerja PLTS.	Metode penelitian ini melibatkan observasi lapangan untuk mengumpulkan data tentang PLTS di area parkir PLTU Suralaya. Setelah itu, dilakukan perhitungan kebutuhan komponen PLTS, termasuk jumlah modul surya dan kapasitas inverter, sesuai standar SNI 8395:2017.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa jumlah modul surya dan kapasitas inverter pada PLTS area parkir PLTU Suralaya tidak memenuhi kebutuhan optimal. Seharusnya terpasang 60 modul surya 50 Wp, namun hanya ada 40 modul. Selain itu, kapasitas inverter yang terpasang sebesar 2000 Watt, sementara kebutuhan sebenarnya adalah 3750 Watt. Posisi modul yang terpengaruh bayangan juga mengurangi efisiensi.
7.	Aji Brahma NI, M. Aan Auliq, Saskia Oktaviani Rahma (2022) [10]	<i>Analisa Evaluasi Sistem Kinerja Smart Grid Solar PV Gedung UKM Universitas Muhammadiyah Jember</i>	Penelitian ini membahas evaluasi kinerja sistem Smart Grid Solar PV di Gedung UKM Universitas Muhammadiyah Jember dengan inverter pintar Imeon 3.6. Sistem ini dirancang untuk memanfaatkan energi matahari sebagai sumber energi terbarukan, sesuai dengan radiasi matahari harian rata-rata Indonesia 4,5-4,8 kWh/m ² ..	Metode penelitian ini melibatkan analisis kinerja sistem Smart Grid Solar PV di Gedung UKM Universitas Muhammadiyah Jember selama satu bulan. Data dikumpulkan melalui pengukuran pemakaian energi listrik harian, efisiensi panel surya, luas area panel, daya yang dihasilkan, dan kapasitas baterai. Analisis dilakukan dengan perhitungan matematis terhadap parameter-parameter tersebut, menghasilkan data terkait efisiensi sistem, daya yang disuplai, dan potensi optimalisasi kebutuhan listrik gedung.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem Smart Grid Solar PV di Gedung UKM Universitas Muhammadiyah Jember dengan kapasitas total 2200 Watt peak mampu memenuhi kebutuhan listrik harian sebesar 1429,3 Wh/hari. Sistem ini menghasilkan efisiensi panel surya sebesar 15,36%, dengan daya rata-rata tertinggi 1271 Watt pada 25 November 2019 dan terendah 873 Watt pada 18 November 2019. Sisa daya sebesar 770,7 Watt peak dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan lainnya, menunjukkan efektivitas sistem dalam mendukung kebutuhan energi gedung secara berkelanjutan.
8.	Yunita Indriyani, Yanif Dwi Kuntjoro, Nugroho Adi Sasongko (2022) [10]	<i>ketahanan energi: pemanfaatan pembangkit listrik tenaga hibrid (plts dan pltbG) di boyolali</i>	Penelitian ini mengkaji potensi Boyolali dalam memanfaatkan bioenergi berbasis biogas dan energi surya untuk transisi energi berkelanjutan. Dengan lebih dari 256.000 peternak sapi dan posisi geografis yang mendukung, Boyolali memiliki potensi besar untuk biogas dan PLTS.	Penelitian ini menggunakan metode research and development (R&D) untuk mengembangkan model sistem energi hibrid di Boyolali. Tahapan R&D meliputi: (a) studi pendahuluan untuk mengidentifikasi potensi energi, (b) pengembangan model yang mengintegrasikan PLTS dan PLTBg, serta (c) pengujian model untuk menilai efisiensi dan dampaknya. Data diperoleh dari sumber primer dan sekunder melalui teknik dokumentasi dan wawancara.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi PLTS dan PLTBg berpotensi mendukung ketahanan energi di Boyolali. Model sistem hibrid ini dapat mengurangi ketergantungan pada energi fosil dan memberikan solusi berkelanjutan yang ramah lingkungan. Implementasi PLTS memanfaatkan intensitas matahari yang tinggi, sementara PLTBg memanfaatkan limbah ternak, terutama dari sapi perah.
9.	Erik Prasetya Aji, Priambodo Wibowo, Jaka	<i>Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan</i>	Penelitian ini mengevaluasi implementasi PLTS sebagai solusi efisiensi energi di	Metode penelitian meliputi pengumpulan data radiasi matahari (rata-rata 4,93	Hasil studi menunjukkan bahwa penerapan PLTS di BPR BKK Mandiraja Cabang Wanayasa

Tabel 1. Penelitian Evaluasi Performa PLTS di Indonesia

No.	Penulis	Judul	Tujuan Penelitian	Metode	Hasil
	Windarta (2022) [13]	<i>Sistem On Grid di BPR BKK Mandiraja Cabang Wanayasa Kabupaten Banjarnegara</i>	BPR BKK Mandiraja Cabang Wanayasa, Banjarnegara. PLTS on-grid ini terhubung dengan PLN, memungkinkan surplus energi disalurkan ke jaringan. Dengan beban harian 9.619 Wh pada hari Senin hingga Sabtu dan 6.848 Wh pada Minggu, sistem menggunakan panel surya 3 × 400 Wp dan inverter 1.500 W.	kWh/m ² /hari) dari NASA (2021) dan perhitungan profil beban harian, dengan total beban 9.619 Wh pada hari Senin hingga Sabtu dan 6.848 Wh pada hari Minggu.	berhasil mengurangi biaya listrik sebesar 22,1%. Dalam 6 bulan, biaya listrik yang seharusnya dibayar Rp 2.438.897 dapat dihemat Rp 538.880. Sistem PLTS on-grid dengan kapasitas panel surya 3 × 400 Wp dan inverter 1.500 W menghasilkan energi harian sekitar 9.619 Wh pada hari kerja dan 6.848 Wh pada hari Minggu.
10.	Wisna Dwi Ariani, Karnoto, and Bambang Winard(2014) [8]	<i>Analisis kapasitas dan biaya pembangkit listrik tenaga Surya (plts) komunal desa kaliwungu kabupaten Banjarnegara</i>	Penelitian ini mengkaji penggunaan PLTS komunal di Desa Kaliwungu, Kabupaten Banjarnegara, sebagai alternatif energi ramah lingkungan. Fokus penelitian mencakup perhitungan kapasitas sistem PLTS, pengurangan emisi CO ₂ , serta analisis biaya dan ekonomi. Sistem PLTS 2,85 kWp dapat memenuhi kebutuhan energi harian 8,922 kWh dan mengurangi emisi CO ₂ sebanyak 3,640 ton. Meskipun biaya investasi awal Rp 433.125.000,00 dengan payback period 29 tahun (atau 20 tahun jika tarif listrik naik 5% per tahun).	Metode penelitian ini meliputi perancangan dan analisis sistem PLTS komunal di Desa Kaliwungu melalui beberapa tahapan. Pertama, dilakukan perhitungan kapasitas sistem PLTS berdasarkan data beban energi harian, diikuti dengan perhitungan potensi pengurangan emisi CO ₂ . Analisis ekonomi dilakukan dengan metode Net Present Worth (NPW), Annual Cash Flow (ACF), Benefit-Cost Ratio (B-CR), Future Worth (FW), dan Payback Period (PP) untuk mengevaluasi kelayakan finansial proyek, menggunakan perangkat lunak MATLAB 2008a.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk memenuhi kebutuhan energi harian 8,922 kWh di Desa Kaliwungu, sistem PLTS 2,85 kWp dengan 19 panel surya, 24 unit baterai 464,687 Ah, charge controller 60 A, dan inverter 3500 W dapat mencapainya. Sistem ini menghasilkan 4,987.13 kWh per tahun dan mengurangi emisi CO ₂ sebesar 3,640 ton. Meskipun total investasi Rp 433.125.000,00 dan pendapatan tahunan Rp 14.961.400,00, payback period proyek ini mencapai 29 tahun. Jika tarif listrik naik 5% per tahun, payback period bisa dipercepat menjadi 20 tahun.

A. Analisis Persamaan dan Perbedaan Penelitian

Penelitian terkait Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) menawarkan berbagai pendekatan untuk mengevaluasi dan mengoptimalkan kinerjanya, baik dari segi teknis, finansial, maupun lingkungan. Secara umum, mayoritas penelitian memiliki kesamaan dalam fokusnya, yaitu mengevaluasi kinerja sistem PLTS, termasuk sistem terpusat, hybrid, maupun On Grid. Misalnya, penelitian [5], penelitian [8], penelitian [4], [12], dan penelitian [13] menitikberatkan pada analisis kinerja melalui pengukuran langsung atau simulasi perangkat lunak. Metode ini digunakan untuk mengevaluasi efisiensi energi, biaya operasional, dan kehandalan sistem dalam berbagai kondisi. Hal ini menunjukkan bahwa evaluasi kinerja adalah elemen kunci dalam menilai keberhasilan implementasi PLTS.

Kesamaan lainnya terlihat pada penggunaan metode kuantitatif dan analisis finansial dalam beberapa penelitian. penelitian [7] dan penelitian [5], misalnya, menggunakan pendekatan ini untuk menilai efisiensi energi dan kelayakan ekonomi dari proyek PLTS. Fokus pada analisis finansial ini penting, terutama dalam konteks mendorong adopsi teknologi energi terbarukan di masyarakat, karena memberikan gambaran nyata tentang manfaat ekonomi dari sistem yang diimplementasikan.

Meskipun ada kesamaan, metode yang digunakan dalam penelitian-penelitian ini juga menunjukkan perbedaan yang menarik. penelitian [12] sepenuhnya mengandalkan simulasi PVsyst untuk memprediksi performa PLTS berdasarkan data cuaca dan parameter sistem, memberikan pendekatan yang praktis dan hemat biaya. Di sisi lain, penelitian [6] menggabungkan eksperimen lapangan dengan simulasi perangkat lunak, memungkinkan pengumpulan data real-time yang lebih komprehensif. Pendekatan ini memberikan keunggulan dalam memastikan hasil yang lebih konkret dan sesuai dengan kondisi lapangan.

Lebih lanjut, perbedaan yang signifikan juga ditemukan dalam tujuan penelitian. penelitian [10] menggunakan metode R&D untuk mengembangkan sistem energi hybrid yang menggabungkan tenaga surya dan biogas. Fokus ini memberikan kontribusi pada inovasi teknologi yang berorientasi pada ketahanan energi. Sebaliknya, penelitian [11] fokus pada analisis sistem PLTS yang sudah ada, mengevaluasi kapasitas dan biaya dengan mempertimbangkan pengurangan emisi karbon. Ini menunjukkan pergeseran perspektif dari inovasi menuju optimalisasi keberlanjutan lingkungan.

Penelitian lainnya menunjukkan perbedaan dalam pendekatan analisis finansial. Penelitian [7] berfokus pada efisiensi energi dan penghematan biaya operasional, sedangkan penelitian [11] lebih menekankan pada aspek lingkungan melalui analisis pengurangan karbon. Perbedaan

ini mencerminkan bagaimana penelitian PLTS dapat diarahkan untuk mencapai berbagai tujuan, mulai dari keuntungan ekonomi hingga dampak positif terhadap lingkungan.

Secara keseluruhan, meskipun memiliki kesamaan dalam evaluasi kinerja sebagai inti penelitian, setiap studi menawarkan perspektif unik yang memperkaya pemahaman kita tentang PLTS. Variasi dalam metode dan tujuan penelitian ini mencerminkan kompleksitas serta potensi luas teknologi PLTS dalam mendukung transisi energi yang berkelanjutan. Dari simulasi perangkat lunak hingga eksperimen lapangan, serta dari pengembangan sistem baru hingga evaluasi sistem eksisting, penelitian-penelitian ini menunjukkan bagaimana inovasi dan optimalisasi dapat berjalan seiring untuk mencapai efisiensi energi dan keberlanjutan lingkungan

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian-penelitian terkait Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) memberikan kontribusi yang signifikan dalam mendukung transisi energi berkelanjutan. Berbagai pendekatan yang diambil mencakup aspek teknis, finansial, hingga keberlanjutan, masing-masing memberikan wawasan yang bermanfaat. Namun, sebagaimana halnya penelitian lainnya, setiap pendekatan memiliki kelebihan dan kekurangan yang dapat menjadi pijakan untuk pengembangan lebih lanjut.

Salah satu kelebihan utama dari penelitian-penelitian ini adalah pendekatannya yang variatif dan komprehensif. Misalnya, penelitian yang dilakukan oleh penelitian [6] menggabungkan eksperimen lapangan dengan simulasi perangkat lunak untuk menghasilkan data real-time yang relevan, sekaligus memanfaatkan prediksi berbasis model. Pendekatan ini memberikan hasil yang lebih mendalam. Selain itu, penelitian oleh Suhardhika Sih penelitian [7] dan penelitian [5] menawarkan fokus pada evaluasi finansial dengan metode seperti NPV, PI, dan Payback Period. Pendekatan ini sangat berguna untuk menilai kelayakan ekonomi proyek PLTS, memberikan arahan yang jelas bagi pengambil keputusan. Lebih lanjut, inovasi teknologi hybrid yang dikembangkan oleh penelitian [10] menunjukkan potensi besar dalam menciptakan ketahanan energi melalui kombinasi tenaga surya dan biogas.

Namun, penelitian-penelitian ini juga memiliki kekurangan yang perlu diperhatikan. Salah satu kelemahan utamanya adalah keterbatasan data lapangan. Penelitian berbasis simulasi, seperti yang dilakukan oleh penelitian [12], sering kali kurang mempertimbangkan kondisi lapangan yang dinamis, sehingga hasilnya mungkin kurang akurat saat diterapkan dalam dunia nyata. Selain itu, pendekatan multi-aspek yang mencakup analisis teknis, finansial, dan keberlanjutan sering kali belum terintegrasi secara optimal. Misalnya, penelitian [11] hanya fokus pada analisis ekonomi tanpa mempertimbangkan efisiensi energi secara keseluruhan. Kekurangan lainnya adalah minimnya perhatian pada dimensi sosial, seperti penerimaan

masyarakat dan dampaknya pada ekonomi lokal, yang padahal sangat penting untuk memastikan keberlanjutan proyek PLTS.

Melalui evaluasi terhadap kelebihan dan kekurangan ini, pengembangan penelitian di masa depan dapat diarahkan untuk mengintegrasikan pendekatan multidisiplin yang lebih holistik. Kombinasi antara data lapangan yang lebih luas, simulasi perangkat lunak yang akurat, dan analisis yang mencakup aspek sosial dan lingkungan diharapkan dapat memperkuat kontribusi PLTS dalam mendukung transisi energi yang berkelanjutan.

Arah pengembangan penelitian dan implementasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Indonesia perlu difokuskan pada integrasi pendekatan multidisiplin yang mencakup aspek teknis, finansial, sosial, dan lingkungan. Hal ini akan memberikan gambaran yang lebih holistik tentang dampak dan potensi PLTS dalam mendukung transisi energi yang berkelanjutan. Pemanfaatan data lapangan yang lebih luas juga sangat penting untuk memperkuat akurasi hasil penelitian, mengingat variasi kondisi geografis dan operasional yang ada di Indonesia. Berikut adalah rekomendasi arah pengembangan yang perlu dilakukan :

1. Integrasi Pendekatan Multidisiplin
Penelitian masa depan dapat mengintegrasikan aspek teknis, finansial, lingkungan, dan sosial untuk memberikan gambaran yang lebih holistik tentang dampak implementasi PLTS.
2. Pemanfaatan Data Lapangan yang Lebih Luas
Kombinasi antara simulasi dan eksperimen lapangan, seperti yang dilakukan oleh penelitian [6], perlu diperluas untuk mencakup lebih banyak variasi lokasi dan kondisi operasional.
3. Pengembangan Teknologi Berbasis IoT
Penelitian di masa depan dapat memanfaatkan teknologi Internet of Things (IoT) untuk memantau kinerja PLTS secara real-time, memberikan data yang lebih akurat dan dapat diakses secara mudah.
4. Fokus pada Model Hybrid
Meningkatkan potensi besar teknologi hybrid, seperti yang ditunjukkan oleh penelitian [10], penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengoptimalkan integrasi energi terbarukan lainnya seperti angin atau mikrohidro.
5. Peningkatan Keterlibatan Masyarakat
Menilai penerimaan masyarakat terhadap teknologi PLTS dapat menjadi langkah penting dalam memastikan keberhasilan implementasi jangka panjang, terutama di daerah pedesaan.

Dengan memperhatikan kelebihan, kekurangan, dan potensi pengembangan ini, penelitian PLTS dapat semakin mendukung transisi energi berkelanjutan yang tidak hanya efisien secara teknis, tetapi juga bermanfaat secara ekonomi dan sosial.

V. KESIMPULAN

Makalah ini mengkaji berbagai parameter dan teknik evaluasi performa Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan menyoroti aspek fundamental seperti irradiance, efisiensi konversi energi, rasio performa, dan degradasi. Dalam konteks PLTS, pengukuran langsung, simulasi, dan analisis data historis menjadi metode utama yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja sistem. Penelitian terkait PLTS di Indonesia menunjukkan pendekatan yang beragam, mulai dari analisis teknis berbasis simulasi hingga evaluasi finansial untuk menilai kelayakan ekonomi dan efisiensi sistem. Persamaan penelitian terlihat pada fokus terhadap kinerja sistem, sementara perbedaannya terletak pada metodologi spesifik yang digunakan. Analisis ini menggaris bawahi pentingnya evaluasi menyeluruh untuk meningkatkan efisiensi, kehandalan, dan keberlanjutan sistem PLTS di berbagai skenario operasional.

Kesimpulannya, evaluasi performa PLTS membutuhkan pendekatan yang komprehensif, mencakup pengukuran parameter utama seperti irradiance, efisiensi konversi energi, rasio performa, dan tingkat degradasi. Metode yang digunakan, baik pengukuran langsung, simulasi perangkat lunak, maupun analisis data historis, memberikan wawasan yang mendalam mengenai potensi dan tantangan dalam pengoperasian sistem ini. Di Indonesia, penelitian tentang PLTS terus berkembang dengan berbagai pendekatan inovatif, mulai dari simulasi berbasis perangkat lunak hingga observasi lapangan, yang berkontribusi pada peningkatan implementasi energi terbarukan. Dengan semakin canggihnya alat ukur dan teknik analisis yang tersedia, potensi pengembangan PLTS untuk mendukung keberlanjutan energi menjadi semakin besar, sehingga mendorong transisi menuju sistem energi yang lebih ramah lingkungan dan ekonomis

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Penerbangan and I. Curug -Tangerang, "RANCANGAN PEMANFAATAN TENAGA SURYA SEBAGAI SUMBER ENERGI DI GEDUNG POWER HOUSE BANDARA BANYUWANGI HENDRO WIDIARTO (1), ASEP SAMANHUDI (2)," 2023.
- [2] Z. Taro, "JESCE (Journal of Electrical and System Control Engineering) Analisis Biaya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap Skala Rumah Tangga Analysis of Household Scale Solar Power Plant Roof Costs," *JESCE*, vol. 3, no. 2, p. 2020, doi: 10.31289/jesce.v3i2.3266.g2494.
- [3] C. D. P. Hertadi, M. Sulaiman, and P. G. P. Anwar, "Kajian Industri Energi Terbarukan Tenaga Listrik di Indonesia Berdasarkan Arah Kebijakan dan Potensi Alam," *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, vol. 6, no. 2, pp. 276–283, Sep. 2022, doi: 10.33379/gtech.v6i2.1690.
- [4] A. F. Hernawan, E. Mulyana, and B. Trisno, "EVALUASI KINERJA SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA HYBRID PADA GEDUNG CENTRE OF EXCELLENCE UNIVERSITAS," *Transmisi: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 26, no. 1, pp. 31–39, Jan. 2024, doi: 10.14710/transmisi.26.1.31-39.
- [5] Eriyanto, "2_2017_JURNAL_Evaluasi_Pemanfaatan_PLTS_Terpusat_Siding_Kabupate," 2017.
- [6] Y. Kariongan, "Evaluasi Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terpusat 20 KWP di Kampung Ampas Distrik Waris Kabupaten Keerom," *Jurnal Pendidikan Tambusai*, vol. 6, pp. 3591–3598, 2022.
- [7] S. S. Sudewanto and M. A. Riyadi, "Evaluasi Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya On Grid di Laboratorium B PLN UPDL Pandaan Evaluation on On-Grid Solar Cell Usage in Laboratorium B PLN UPDL Pandaan," *TELKA*, vol. 8, no. 2, pp. 165–174, 2022.
- [8] R. Putra, B. Nainggolan, and P. Jannus, "Prosiding A/B Seminar Nasional Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta (2023), p1-p2," 2023. [Online]. Available: <http://prosiding.pnj.ac.id>
- [9] A. Brahma N, M. Aan Auliq, and S. Oktaviani Rahma, "Analisa Evaluasi Sistem Kinerja Smart Grid Solar PV Gedung UKM Universitas Muhammadiyah Jember," *National Multidisciplinary Sciences*, vol. 1, no. 6, pp. 821–827, Nov. 2022, doi: 10.32528/nms.v1i6.237.
- [10] Y. D. K. N. A. S. Yunita Indriyani, "8_2022_KETAHANAN ENERGI PEMANFAATAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA HIBRID (PLTS DAN PLTBg) DI BOYOLALI," *Jurnal Inovasi Darerah*, vol. 1, pp. 10–18, 2022.
- [11] W. Dwi Ariani and B. Winardi, "ANALISIS KAPASITAS DAN BIAYA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) KOMUNAL DESA KALIWUNGU KABUPATEN BANJARNEGARA," 2014. [Online]. Available: www.eosweb.larc.nasa.gov
- [12] S. Hermawan, L. Nurpulaela, J. T. Elektro, and F. Teknik, "Penilaian Produktivitas Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terhadap Variabilitas Cuaca : Simulasi PVsyst," vol. 10, no. 1, p. 641177, 2024.
- [13] E. P. Aji, P. Wibowo, and J. Windarta, "Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan Sistem On Grid di BPR BKK Mandiraja Cabang Wanayasa Kabupaten Banjarnegara," *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 3, no. 1, pp. 15–27, Mar. 2022, doi: 10.14710/jebt.2022.13158.