

Analisis Efisiensi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya *On-Grid* 151 kWp untuk Industri di Cikarang

Abdu Yakan Rosyadi, Ibnu Hartopo[#], Mugni Labib Edypoerwa, Ayu Laksmi Padmadewi
Universitas Pendidikan Indonesia
Jl. Dr. Setiabudhi No.229 Bandung, Indonesia
[#]ibnuh@upi.edu

Abstrak

Energi terbarukan, khususnya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), menjadi solusi efektif dalam mengurangi ketergantungan terhadap sumber energi fosil yang semakin berkurang serta berdampak negatif terhadap lingkungan. Perkembangan teknologi fotovoltaik yang semakin efisien, ditambah dengan kebijakan pemerintah yang mendukung energi hijau, telah mendorong adopsi sistem PLTS di berbagai sektor, termasuk industri. Studi ini menganalisis efisiensi sistem PLTS *on-grid* berkapasitas 151 kWp yang diterapkan di PT. Modern Plastik Industri, Cikarang, sebagai bagian dari strategi efisiensi energi dan pengurangan biaya operasional listrik. Penelitian ini mencakup aspek teknis, mulai dari perancangan sistem, pemilihan komponen utama, hingga simulasi kinerja menggunakan PVsyst untuk memprediksi potensi produksi listrik. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem PLTS ini mampu menghasilkan 222,6 MWh per tahun dengan *Performance Ratio* (PR) rata-rata 82%, menandakan efisiensi operasional tinggi. Implementasi sistem ini terbukti dapat mengurangi ketergantungan pada listrik PLN, menekan biaya operasional, serta mendukung transisi energi bersih dan keberlanjutan industri di Indonesia.

Kata kunci: PLTS, On-grid, PVsyst, Performance Ratio, Efisiensi Energi.

Abstract

Renewable energy, particularly Photovoltaic (PV) Power Plants, has emerged as an effective solution to mitigate dependence on depleting fossil fuel resources while minimizing environmental impacts. The continuous advancements in photovoltaic technology, coupled with supportive governmental policies, have accelerated the adoption of grid-connected PV systems across various sectors, including industrial applications. This study evaluates the operational efficiency of a 151 kWp grid-tied PV system installed at PT. Modern Plastik Industri, Cikarang, as part of an energy optimization strategy aimed at reducing electricity consumption and operational costs. The research encompasses comprehensive technical assessments, including system design, component selection (solar modules, inverters, and protection systems), and performance simulations using PVsyst to estimate energy yield with high accuracy. The simulation results indicate an annual energy output of 222.6 MWh with an average Performance Ratio (PR) of 82%, signifying optimal system efficiency and minimal energy losses. The monitoring data further validate the system's capability to offset grid electricity consumption, particularly during peak solar hours, thereby reducing reliance on the national utility grid (PLN) and lowering operational expenditures. The successful deployment of this PV system underscores its potential to enhance industrial energy autonomy, contribute to carbon footprint reduction, and support the transition toward a more sustainable and decarbonized energy landscape in Indonesia.

Keywords: PLTS, On-grid, PVsyst, Performance Ratio, Energy Efficiency.

I. PENDAHULUAN

Energi surya merupakan salah satu sumber energi terbarukan utama [1]-[4]. Pemanfaatannya memiliki peran penting di berbagai sektor [5][6]. Teknologi

fotovoltaik berkaitan erat dengan penelitian serta penerapan panel surya dalam menghasilkan listrik [7]. Sebagai negara tropis yang terletak di sepanjang garis khatulistiwa, Indonesia memiliki potensi besar dalam pemanfaatan energi matahari. Mengingat

tingginya kebutuhan listrik di sektor industri, energi surya dipilih sebagai salah satu alternatif untuk pembangkitan listrik. Energi yang dihasilkan pada siang hari dapat dimanfaatkan untuk menghemat konsumsi daya.

Indonesia menerima radiasi matahari rata-rata sekitar 4,8 kWh/m² per hari, sehingga sangat cocok untuk pembangkit energi matahari [8]-[11]. Pemerintah bertujuan untuk mencapai bauran energi terbarukan sebesar 23% pada tahun 2025, dengan energi matahari memainkan peran penting dalam transisi ini [12][13]. Kelayakan ekonomi proyek tenaga surya merupakan faktor penting dalam adopsi mereka. Studi menunjukkan bahwa pembangkit listrik tenaga surya, termasuk yang untuk stasiun pengisian kendaraan listrik, dapat menawarkan pengembalian investasi yang signifikan dan berkontribusi pada tujuan keberlanjutan energi [14].

Sebuah studi pada sistem tenaga surya atap 1 MW di Karawang menunjukkan *performance ratio* antara 81,90% dan 84,70%, hasil ini menunjukkan kinerja sistem PLTS yang andal dalam desain dan pengoperasian sistem tenaga surya untuk mencapai efisiensi maksimum [15]. Penetrasi pembangkit listrik tenaga surya di sistem Jawa-Bali telah terbukti mengubah profil beban secara signifikan, dengan kapasitas surya mencapai 52% dari beban puncak pada tahun 2023 [16]. Sistem PV *on-grid rooftop* yang terpasang memiliki efisiensi sistem sebesar 12,15% dan efisiensi inverter tahunan rata-rata sebesar 91,39%, yang menunjukkan kinerja yang efektif untuk aplikasi industri dalam menghasilkan listrik dan mengurangi emisi karbon [17]. Penelitian lain menunjukkan rasio kinerja (PR) sebesar 80,30% untuk sistem PLTS atap 52,3 kWp, dengan produksi energi tahunan sebesar 1043,88 kWh/kWp, yang menunjukkan efisiensi efektif dalam menghasilkan energi matahari untuk aplikasi industri [18].

Perangkat lunak simulasi PVsyst adalah alat yang digunakan untuk merancang dan menganalisis sistem fotovoltaik (PV). Aplikasi ini digunakan untuk merancang, mensimulasikan, dan menganalisis sistem PLTS dan menghitung efisiensi energi. Ini membantu dalam mengoptimalkan kinerja sistem melalui pemeliharaan dan pemantauan rutin [19].

Penelitian ini bertujuan untuk mensimulasikan dan menganalisis efisiensi sistem PLTS *on-grid* di PT. Modern Plastik Industri yang berlokasi di Kawasan Industri Delta Silicone II, Jl. Beringin No.12/1-A Blok F, Cibatu, Kec. Cikarang Pusat, Kabupaten Bekasi, Jawa Barat. Analisis efisiensi memanfaatkan perangkat lunak PVsyst dan sistem monitoring PLTS. Studi ini dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem dalam memenuhi kebutuhan listrik industri serta menganalisis

efisiensi energi yang dihasilkan dalam berbagai kondisi operasional. Pengembangan dalam penelitian ini mencakup kajian lebih mendalam mengenai dampak integrasi PLTS *on-grid* terhadap konsumsi listrik industri.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini melibatkan tahapan-tahapan seperti yang dijelaskan dalam diagram alir pada Gambar 1, yang mencakup studi literatur, pengumpulan data (lokasi, irradiansi, kapasitas PLTS, dan komponen PLTS), analisis dan pengolahan data, hasil dan pembahasan.

Metode penelitian yang ditunjukkan dalam diagram alir pada Gambar 1 dapat dijelaskan secara rinci sebagai berikut:

1) Studi Literatur

Pada tahap ini, dilakukan kajian pustaka terhadap berbagai referensi ilmiah, jurnal, buku, dan sumber lain yang relevan dengan topik penelitian. Studi literatur bertujuan untuk memahami konsep dasar, metode yang telah digunakan dalam penelitian sebelumnya, serta mengidentifikasi celah penelitian yang dapat diisi oleh studi ini.

2) Pengumpulan Data

Setelah memahami teori yang relevan, penelitian berlanjut ke tahap pengumpulan data. Data dapat diperoleh melalui berbagai metode, seperti:

- Observasi langsung terhadap objek penelitian.
- Eksperimen atau simulasi dengan perangkat lunak.
- Pengambilan data sekunder dari laporan atau dokumen yang telah ada.

3) Verifikasi Kelengkapan Data

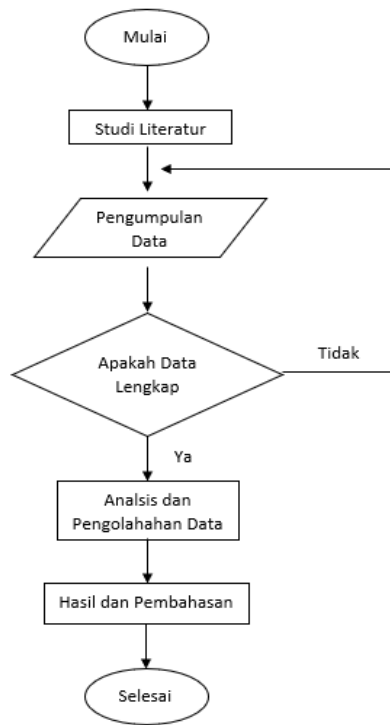
Setelah data dikumpulkan, dilakukan pemeriksaan terhadap kelengkapan dan validitasnya. Jika data yang diperoleh belum mencukupi atau tidak valid, maka dilakukan proses pengumpulan ulang atau perbaikan data dengan kembali ke tahap sebelumnya.

4) Analisis dan Pengolahan Data

Setelah data dinyatakan lengkap, dilakukan proses analisis menggunakan metode yang sesuai untuk memperoleh temuan yang dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini mencakup:

- Analisis statistik untuk data kuantitatif

Data kuantitatif yang diperoleh dianalisis menggunakan metode statistik deskriptif dan inferensial. Statistik deskriptif digunakan untuk melihat distribusi data, nilai rata-rata, standar deviasi, serta tren umum.



Gambar 1. Alur metode penelitian

- Pemodelan dan simulasi menggunakan perangkat lunak
Menggunakan metode pemodelan berbasis data. Simulasi dilakukan dengan perangkat PvSyst.
 - Interpretasi hasil eksperimen berdasarkan teori yang telah dikaji
Hasil eksperimen yang diperoleh dibandingkan dengan teori yang telah dikaji dalam studi literatur. Interpretasi dilakukan dengan menelaah kesesuaian hasil penelitian dengan prediksi teoretis serta membandingkannya dengan penelitian terdahulu.
- 5) Hasil dan Pembahasan
Pada tahap ini, hasil analisis data disusun dan dibandingkan dengan teori atau penelitian sebelumnya. Pembahasan dilakukan untuk menarik kesimpulan mengenai temuan penelitian serta implikasinya terhadap bidang yang dikaji.

A. Data Lokasi

PT. Modern Plastik Industri yang berlokasi di Kawasan Industri Delta Silicone II, Jl. Beringin No.12/1-A Blok F, Cibatu, Kec. Cikarang Pusat, Bekasi, Jawa Barat (-6.350184544128622, 107.15164127719315). Dengan menggunakan SolarGIS didapatkan data irradiasi yang ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Irradiasi

Month	GHI
Januari	3.96
Februari	4.02
Maret	4.09
April	4.95
Mei	4.85
Juni	4.72
Juli	4.99
Agustus	5.68
September	6.00
Oktober	5.63
November	4.89
Desember	4.30
Rata-rata	4.91

Data pada Tabel 1 menunjukkan variasi *Global Horizontal Irradiance* (GHI) dalam kWh/m²/hari sepanjang tahun. Pada bulan Januari, nilai GHI terendah tercatat sebesar 3.96 kWh/m²/hari, yang kemungkinan besar disebabkan oleh kondisi cuaca yang lebih mendung serta sudut datang sinar matahari yang lebih rendah. Seiring berjalannya waktu, intensitas radiasi matahari mulai meningkat pada bulan-bulan berikutnya, dengan kenaikan yang signifikan dari Februari hingga Agustus. Puncak GHI terjadi pada bulan September dengan nilai tertinggi 6.00 kWh/m²/hari, yang menandakan periode optimal untuk produksi energi listrik dari sistem fotovoltaik (PV).

Setelah mencapai puncaknya, GHI mulai mengalami penurunan bertahap menjelang akhir tahun, yang sejalan dengan penurunan durasi siang hari dan sudut datang matahari yang lebih rendah. Meskipun demikian, nilai rata-rata tahunan GHI yang mencapai 4.91 kWh/m²/hari menunjukkan bahwa lokasi ini memiliki tingkat iradiasi yang cukup tinggi dan layak untuk aplikasi PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya).

Berdasarkan pola musiman ini, periode Mei hingga Oktober, yang memiliki GHI tinggi dan stabil, merupakan waktu yang paling optimal untuk memaksimalkan kinerja sistem PLTS. Secara umum, GHI cenderung meningkat dari awal tahun, mencapai puncak pada bulan Agustus-September, lalu menurun menjelang akhir tahun.

Rata-rata tahunan GHI adalah 4.91 kWh/m²/hari, yang menunjukkan tingkat radiasi matahari yang cukup baik untuk aplikasi energi surya. Periode dengan GHI tinggi (Mei–Oktober) dapat dimanfaatkan secara optimal untuk sistem tenaga surya.

B. Data PLTS

Tabel 2. Data PTS

Komponen	Type	Jumlah
PV Modul	JA Solar JAM72S30-550Wp	275 Pcs
Inverter	Sungrow SG125CX-P2	1 Pcs

PLTS di PT. Modern Plastik Industri menggunakan sistem *on-grid*. Sistem PLTS *on-grid* dikenal karena potensinya untuk meningkatkan efisiensi energi dan keberlanjutan. Sistem ini mengintegrasikan PV ke jaringan listrik PLN menggunakan inverter.

Dari Tabel 2 diketahui bahwa total kapasitas PLTS di PT. Modern Plastik Industri sebesar 275 pcs x 550 Wp = 151.25 kWp. Total kapasitas Inverter 125 kW.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Studi Literatur

Penelitian ini diawali dengan studi literatur yang bertujuan untuk memahami dasar teori terkait sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *on-grid* serta parameter yang digunakan dalam evaluasi kinerjanya. Studi ini mencakup pemahaman tentang teknologi fotovoltaik, metode simulasi dengan perangkat lunak PVsyst, serta analisis efisiensi sistem berdasarkan *Performance Ratio* (PR) dan parameter lainnya. Selain itu, ditinjau pula penelitian sebelumnya mengenai implementasi PLTS di sektor industri untuk membandingkan hasil yang diperoleh.

B. Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh melalui dua metode utama:

- 1) Data primer, yaitu hasil pemantauan langsung dari sistem PLTS *on-grid* di PT. Modern Plastik Industri, Cikarang. Data ini mencakup produksi energi harian, intensitas radiasi matahari, suhu lingkungan, serta beban listrik industri.
- 2) Data sekunder, yaitu hasil simulasi menggunakan perangkat lunak PVsyst yang digunakan untuk memodelkan performa sistem berdasarkan parameter teknis yang telah ditetapkan. Simulasi ini membantu dalam memprediksi potensi energi yang dapat dihasilkan oleh sistem serta faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensinya.

C. Analisis dan Pengolahan Data

Setelah data dikumpulkan secara menyeluruh, proses analisis dilakukan untuk mengevaluasi performa sistem PLTS *on-grid* berdasarkan

parameter teknis yang umum digunakan dalam penelitian teknik energi terbarukan. Analisis ini bertujuan untuk menilai kesesuaian hasil eksperimen dengan prediksi simulasi serta memastikan bahwa sistem bekerja sesuai dengan standar yang diterima dalam desain dan implementasi PLTS *on-grid*.

1) Produksi energi tahunan

Produksi energi tahunan merupakan indikator utama dalam menilai performa sistem PLTS *on-grid*. Berdasarkan hasil analisis, sistem menghasilkan energi sebesar 222,6 MWh per tahun. Estimasi ini diperoleh melalui pemodelan menggunakan perangkat lunak PVsyst, yang secara luas digunakan dalam penelitian teknik energi untuk mensimulasikan performa sistem fotovoltaik. Hasil produksi ini kemudian dibandingkan dengan data aktual dari sistem yang telah beroperasi. Perbandingan ini penting untuk menilai keandalan simulasi dalam memprediksi produksi energi dan memastikan bahwa desain sistem telah dioptimalkan sesuai dengan kondisi aktual.

2) *Performance Ratio* (PR) sebagai indikator efisiensi

Performance Ratio (PR) merupakan parameter yang digunakan dalam banyak studi teknik energi untuk menilai efisiensi sistem dalam mengkonversi energi matahari menjadi listrik. Dalam penelitian ini, sistem menunjukkan PR rata-rata sebesar 82%, yang menandakan bahwa kehilangan energi akibat faktor lingkungan dan teknis masih dalam batas yang dapat diterima. PR yang tinggi mencerminkan bahwa sistem memiliki kualitas desain yang baik dan efisiensi inverter serta modul surya berada pada tingkat optimal. Dalam berbagai penelitian yang dipublikasikan dalam jurnal teknik bereputasi, nilai PR yang berada di atas 80% dikategorikan sebagai efisiensi yang sangat baik untuk sistem PLTS *on-grid* dalam kondisi operasional nyata.

3) Reduksi konsumsi listrik dari jaringan PLN

Salah satu manfaat utama dari sistem PLTS *on-grid* adalah reduksi konsumsi listrik dari jaringan PLN, terutama pada periode siang hari saat produksi energi surya mencapai puncaknya. Analisis data menunjukkan bahwa energi yang dihasilkan oleh sistem PLTS secara signifikan mengurangi penggunaan listrik dari PLN, sehingga menghasilkan efisiensi energi yang lebih tinggi. Studi yang dipublikasikan dalam jurnal teknik menunjukkan bahwa integrasi sistem PLTS *on-grid* dapat menurunkan beban jaringan listrik serta meningkatkan kestabilan pasokan listrik dengan mengurangi fluktuasi permintaan pada siang hari.

4) Perbandingan hasil simulasi dan data aktual

Untuk memastikan keandalan metode analisis yang digunakan, dilakukan perbandingan antara hasil simulasi dan data operasional yang diperoleh

dari sistem PLTS *on-grid*. Hasilnya menunjukkan bahwa deviasi antara perhitungan simulasi dan produksi aktual masih dalam batas toleransi yang diterima dalam standar teknik energi terbarukan. Faktor-faktor yang memengaruhi perbedaan ini antara lain variabilitas kondisi cuaca, degradasi modul fotovoltaik, serta faktor teknis seperti efisiensi inverter dan sistem distribusi daya.

Dari hasil analisis ini, dapat disimpulkan bahwa sistem PLTS *on-grid* memiliki performa yang sesuai dengan perhitungan teoritis dan standar yang diterapkan dalam penelitian teknik energi terbarukan. Metode simulasi yang digunakan juga terbukti akurat dalam memprediksi kinerja sistem, sehingga dapat diandalkan dalam perencanaan dan pengembangan proyek PLTS *on-grid* di masa mendatang.

D. Hasil Simulasi dan Pembahasan

Setelah dilakukan simulasi menggunakan perangkat lunak PVsyst, diperoleh hasil analisis performa sistem PLTS berdasarkan parameter utama yang ditampilkan pada Gambar 2. Evaluasi dilakukan dengan mengacu pada metode analisis yang telah dijelaskan dalam analisis dan pengolahan data, sehingga hasil yang diperoleh dapat dikaji secara ilmiah dan dibandingkan dengan studi sebelumnya.

1) Produksi energi tahunan

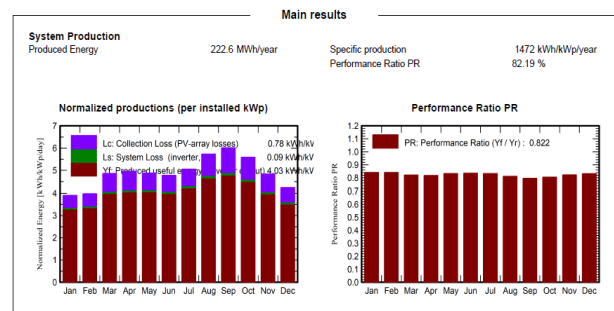
Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem PLTS menghasilkan energi sebesar 222,6 MWh per tahun dengan spesifik produksi sebesar 1.747 kWh/kWp. Nilai ini menunjukkan bahwa sistem memiliki potensi daya yang optimal dalam mengonversi energi matahari menjadi listrik, sesuai dengan kondisi radiasi matahari di lokasi penelitian.

2) Performance Ratio (PR) dan efisiensi sistem

Performance Ratio (PR) merupakan indikator utama dalam mengevaluasi efisiensi sistem PLTS. Dari hasil simulasi, nilai PR rata-rata yang diperoleh adalah 82%, yang menunjukkan bahwa sistem beroperasi dengan efisiensi tinggi. Nilai ini berada dalam kisaran yang sesuai dengan standar performa PLTS *on-grid* dan sejalan dengan hasil penelitian sebelumnya terkait sistem serupa.

3) Analisis kerugian energi (*losses*) dalam sistem

Evaluasi lebih lanjut terhadap losses dalam sistem menunjukkan bahwa kerugian terbesar berasal dari modul fotovoltaik (*collection loss*), sedangkan kerugian pada inverter (*system loss*) relatif kecil. *Collection loss* ini dapat disebabkan oleh berbagai faktor, seperti ketidaksempurnaan penyerapan radiasi matahari, degradasi modul, atau sudut pemasangan panel yang kurang optimal.



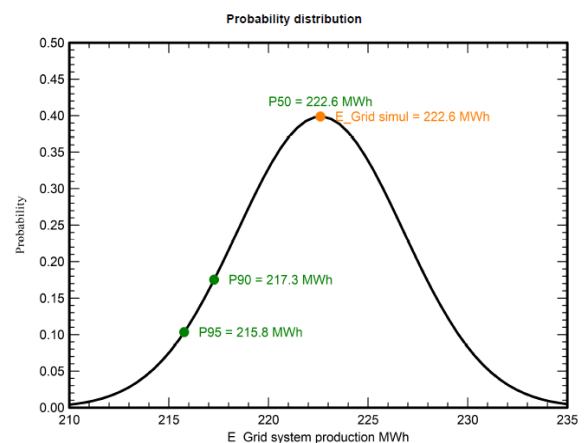
Gambar 2. Hasil simulasi dengan PVsyst

4) Perbandingan hasil simulasi dengan data aktual

Hasil simulasi yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan data operasional lapangan untuk memvalidasi keakuratan model. Hasil simulasi PVsyst memiliki kesesuaian dengan data aktual, dengan selisih deviasi yang masih dalam batas wajar. Analisis ini menunjukkan bahwa simulasi dapat digunakan sebagai dasar perencanaan dan optimasi sistem PLTS sebelum implementasi di lapangan.

Hasil analisis juga menunjukkan bahwa fluktuasi produksi energi bulanan dipengaruhi oleh variasi kondisi cuaca, seperti tingkat radiasi matahari dan suhu lingkungan. Meskipun terdapat perubahan kondisi iklim sepanjang tahun, sistem tetap mampu menjaga stabilitas nilai PR di sekitar 82%, yang menandakan adaptabilitas yang baik terhadap perubahan lingkungan.

Hasil analisis menunjukkan potensi optimasi sistem, seperti penyesuaian sudut pemasangan panel surya dan pemilihan kapasitas inverter yang lebih optimal untuk mengurangi kerugian energi lebih lanjut. Secara keseluruhan, sistem PLTS yang dikaji telah menunjukkan performa yang baik dan dapat dijadikan model implementasi yang efektif untuk sektor industri dalam mendukung transisi energi berkelanjutan.



Gambar 3. Simulasi produksi PLTS tahunan

E. Hasil Efisiensi Produksi PLTS

Data penggunaan energi diambil dari sistem monitoring PLTS pada tanggal 17 Juni 2024. Data yang diambil berupa hasil produksi PLTS, penggunaan daya dari *grid* PLN dan beban konsumsi listrik. Gambar 3 menyajikan analisis probabilitas produksi energi tahunan dari sistem PLTS berdasarkan simulasi menggunakan perangkat lunak PVsyst. Data meteorologi yang digunakan berasal dari SolarGIS dengan rata-rata bulanan, yang berbasis *Typical Meteorological Year* (TMY) multi-tahun. Variabilitas tahunan dalam data cuaca relatif kecil, hanya sebesar 0,5%, menunjukkan bahwa fluktuasi iklim antar tahun tidak signifikan. Selain itu, model tidak mempertimbangkan dampak perubahan iklim jangka panjang, sebagaimana ditunjukkan oleh nilai 0,0% pada faktor *climate change*. Secara keseluruhan, variabilitas produksi energi akibat faktor cuaca dan sistem tercatat sebesar 1,9%, yang mengindikasikan bahwa faktor lingkungan memiliki pengaruh yang terbatas terhadap ketidakpastian produksi energi tahunan.

Ketidakpastian dalam simulasi juga dipengaruhi oleh beberapa faktor teknis, termasuk pemodelan parameter modul fotovoltaik dengan ketidakpastian 1,0%, efisiensi inverter 0,5%, serta faktor *soiling* dan *missmatch* yang mencapai 1,0% akibat akumulasi debu pada panel dan ketidaksempurnaan penyaluran modul. Selain itu, ketidakpastian terkait degradasi modul juga diperhitungkan sebesar 1,0%, yang mencerminkan potensi penurunan kinerja sistem seiring waktu. Dengan mempertimbangkan faktor-faktor tersebut, hasil simulasi menunjukkan probabilitas tahunan produksi energi dalam tiga skenario utama, yaitu P50, P90, dan P95. Nilai P50 sebesar 222,6 MWh menandakan skenario produksi yang paling mungkin terjadi, dengan peluang 50% bahwa sistem akan menghasilkan energi dalam jumlah ini atau lebih. Sementara itu, nilai P90 (217,3 MWh) dan P95 (215,8 MWh) menunjukkan skenario konservatif dengan peluang masing-masing 90% dan 95%, yang mengindikasikan batas bawah produksi energi yang dapat diandalkan.

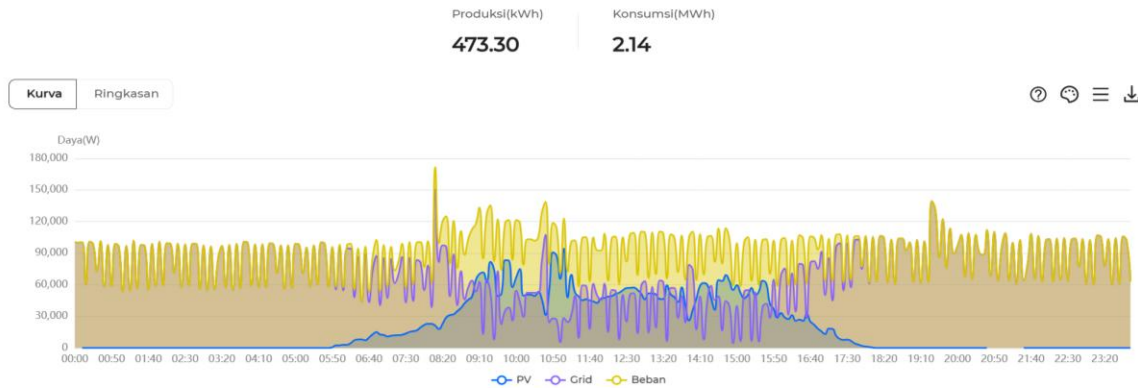
Distribusi probabilitas produksi energi sistem, sebagaimana divisualisasikan dalam grafik, memperlihatkan bahwa produksi energi tahunan berkisar antara 210 MWh hingga 235 MWh, dengan puncak distribusi berada pada 222,6 MWh (P50). Stabilitas nilai P90 dan P95, yang hanya mengalami sedikit deviasi dari P50, mencerminkan tingkat keandalan sistem yang tinggi dan ketidakpastian yang rendah. Dengan demikian, hasil simulasi ini menunjukkan bahwa sistem PLTS telah dirancang

secara optimal dan memiliki performa yang cukup stabil dalam menghadapi variabilitas lingkungan maupun teknis.

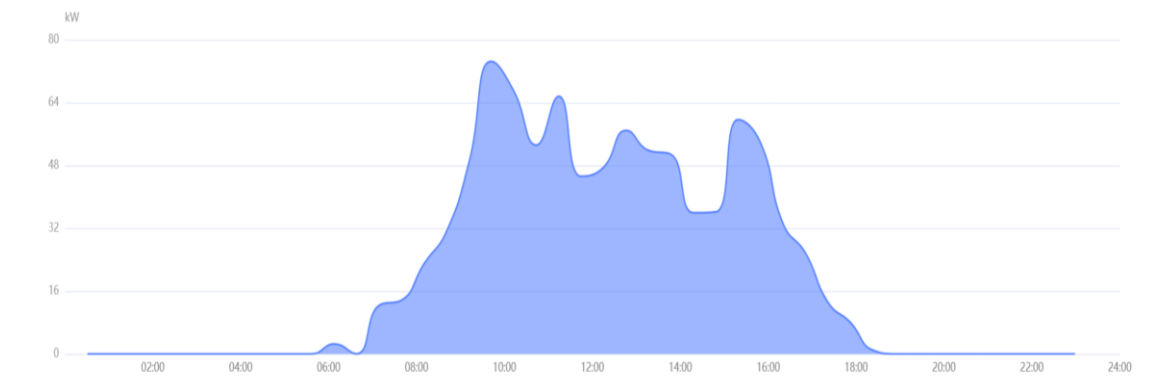
Pada Gambar 4 menampilkan analisis energi dalam satu hari (dari pukul 00.00 hingga 23.59) dengan beberapa parameter utama: Produksi PLTS sebesar 473,3 kWh, penggunaan daya dari *grid* PLN sebesar 1667 kWh, dan beban konsumsi 2,14 MWh. Warna kuning cenderung lebih tinggi dan berfluktuasi sepanjang hari, menandakan beban yang cukup dinamis. Warna ungu mempresentasikan daya dari *grid* PLN dan warna biru menunjukkan produksi PLTS. Gambar di atas menunjukkan analisis energi sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) berdasarkan data produksi dan konsumsi energi. Dari hasil analisis, sistem mengalami defisit energi sebesar -1.665,25 kWh, yang menunjukkan bahwa produksi energi dari PLTS tidak mencukupi untuk memenuhi kebutuhan konsumsi. Total produksi energi tercatat sebesar 473,30 kWh, sedangkan konsumsi energi mencapai 2,14 MWh. Hal ini mengindikasikan bahwa sebagian besar kebutuhan energi masih bergantung pada sumber listrik dari jaringan (*grid*).

Kurva yang ditampilkan pada Gambar 4 menggambarkan profil daya sepanjang hari, dengan tiga parameter utama, yaitu daya yang dihasilkan oleh sistem PLTS (PV, ditampilkan dalam garis biru), daya yang disuplai dari jaringan listrik (*Grid*, ditampilkan dalam garis ungu), dan total beban listrik yang dikonsumsi (beban, ditampilkan dalam garis kuning). Dari grafik, terlihat bahwa produksi energi dari PLTS mulai meningkat sejak pagi hari dan mencapai puncaknya pada siang hari, sebelum akhirnya menurun kembali menjelang sore dan malam hari. Namun, terdapat fluktuasi yang cukup signifikan dalam produksi PV, yang kemungkinan disebabkan oleh faktor lingkungan seperti perubahan intensitas radiasi matahari akibat cuaca atau bayangan.

Di sisi lain, konsumsi energi terlihat cukup stabil sepanjang hari dengan beberapa lonjakan pada waktu tertentu, terutama pada pagi dan sore hari. Ketergantungan terhadap jaringan listrik cukup tinggi, terutama pada malam hari ketika PLTS tidak berproduksi. Hal ini berdampak pada perhitungan pendapatan bersih, yang tercatat negatif sebesar -1.311.145,00 IDR, menunjukkan bahwa biaya energi yang harus dibayar masih lebih besar dibandingkan dengan penghematan atau pendapatan dari produksi listrik mandiri. Dengan demikian, untuk meningkatkan efisiensi dan manfaat ekonomi dari sistem ini, diperlukan optimasi dalam kapasitas penyimpanan energi atau strategi pengelolaan konsumsi listrik yang lebih efektif.



Gambar 4. Analisis energi harian



Gambar 5. Produksi PLTS

Gambar 5 menunjukkan *output* daya, yaitu produksi daya dari inverter2 PLTS selama satu hari, yaitu pada tanggal 17 Desember 2024. Grafik ini menampilkan *output* daya dalam satuan kilowatt (kW) sepanjang waktu dalam rentang 24 jam. Dari pola grafik yang ditunjukkan, dapat diamati bahwa produksi daya dimulai dari nol pada tengah malam dan tetap rendah hingga sekitar pukul 06:00, yang menandakan bahwa sistem belum mulai beroperasi atau masih dalam kondisi minim produksi karena belum ada sinar matahari yang cukup.

Setelah pukul 06:00, daya mulai meningkat secara bertahap seiring dengan meningkatnya intensitas cahaya matahari. Puncak produksi daya terjadi sekitar pukul 10:00 hingga 12:00, di mana inverter mencapai nilai daya tertinggi yang mendekati 80 kW. Setelah mencapai puncaknya, daya mengalami fluktuasi tetapi tetap dalam kisaran yang cukup tinggi hingga sore hari. Pola ini dapat disebabkan oleh variasi dalam intensitas cahaya matahari yang dipengaruhi oleh faktor cuaca, seperti keberadaan awan yang menghalangi radiasi matahari.

Menjelang sore, khususnya setelah pukul 16:00, daya mulai mengalami penurunan yang cukup signifikan. Hal ini mencerminkan berkurangnya

intensitas matahari saat matahari mulai terbenam. Setelah pukul 18:00, produksi daya terus menurun hingga akhirnya kembali ke nol menjelang pukul 20:00, yang menunjukkan bahwa inverter tidak lagi menghasilkan daya akibat ketiadaan sumber energi matahari.

Grafik pada Gambar 5 juga menunjukkan pola khas produksi energi dari sistem fotovoltaik yang sangat bergantung pada kondisi sinar matahari. Variasi dalam kurva juga dapat memberikan wawasan mengenai efisiensi sistem inverter, pengaruh faktor lingkungan, serta potensi optimasi sistem untuk meningkatkan stabilitas dan efisiensi produksi energi. Dari data yang diambil didapatkan total maksimal produksi sebesar 75 kW pada saat peak.

Rata-rata beban PT. Modern Plastik Industri berada di 90 kW. Pada pukul 00.00-06.00 kebutuhan beban disuplai sepenuhnya oleh PLN karena PLTS belum produksi. Mulai pukul 06.00 hingga pukul 18.00, beban akan mulai disuplai oleh sistem PLTS dan selisih dari kebutuhan beban akan disuplai oleh PLN. Dari hasil produksi didapatkan total beban konsumsi sebesar 2,14 MWh. Beban ini disuplai oleh PLTS sebesar 437,3 kWh dan sisanya disuplai oleh PLN.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini telah menganalisis efisiensi sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) on-grid dengan kapasitas 151 kWp yang diterapkan di PT. Modern Plastik Industri, Cikarang. Berdasarkan hasil simulasi menggunakan perangkat lunak PVsyst, sistem ini mampu menghasilkan energi listrik sebesar 222,6 MWh per tahun dengan rata-rata Performance Ratio (PR) sebesar 82%. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem PLTS memiliki tingkat efisiensi yang tinggi dalam mengonversi energi surya menjadi energi listrik yang dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan industri. Selain itu, analisis data monitoring menunjukkan bahwa sistem ini mampu mengurangi ketergantungan terhadap suplai listrik dari jaringan PLN selama periode siang hari, sehingga berkontribusi dalam optimalisasi konsumsi energi serta efisiensi biaya operasional industri.

Dari temuan penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa implementasi sistem PLTS on-grid di lingkungan industri tidak hanya memberikan manfaat ekonomis dalam pengurangan biaya energi, tetapi juga mendukung transisi menuju energi berkelanjutan dan pengurangan emisi karbon. Namun, untuk meningkatkan efisiensi lebih lanjut, diperlukan kajian lebih mendalam terkait optimasi konfigurasi sistem, seperti sudut pemasangan panel surya, efisiensi inverter, serta integrasi sistem pemantauan berbasis Internet of Things (IoT) guna meningkatkan kontrol dan pemeliharaan secara real-time. Penelitian lanjutan juga perlu dilakukan untuk mengevaluasi dampak jangka panjang dari implementasi sistem PLTS ini terhadap stabilitas jaringan listrik industri serta potensi integrasinya dengan sistem penyimpanan energi.

REFERENSI

- [1] Wisseh, Matthew Sieh, and Limin Ma. "The Future of Solar Energy in Developing Countries." *Asian Journal of Environment & Ecology*, vol. 23, no. 12, Dec. 2024, pp. 149–64
- [2] Sharma, A. (2024). The Role of Renewable Energy Policies in Achieving Environmental Sustainability Goals. *International Journal for Research Publication and Seminar*, 15(3), 275–281.
- [3] Asif, Muhammad. *Renewable Energy*. Informa, 2024, pp. 41–65,
- [4] Kaushik, B. Pranav, et al. *Renewable Energy Technology*. Aug. 2024, pp. 413–20
- [5] Esiri, A. E., Kwakye, J. M., Ekechukwu, D. E., Ogundipe, O. B., & Ikevuje, A. H. (2024). Public perception and policy development in the transition to renewable energy. *Magna Scientia Advanced Research and Reviews*, 8(2), 228–237
- [6] D. A. Wood, "Solar Energy and its Multiple Applications," vol. 103, *Materials Research Forum LLC*, 2021.
- [7] Aprianto, D., Laksmono, R., Sinambela, F. A. H., & Murtiana, S. (2024). Addressing Indonesia's Fossil Fuel Dependence: A Path Towards a Sustainable Future. *International Journal of Humanities Education and Social Sciences*, 4(3).
- [8] Ardianto, K., Windarta, J., & Wardaya, A. (2024). Evaluation Analysis of Small Capacity Rooftop Solar Electricity (PLTS) Development Plans at PT Pertamina Gas. *Jurnal Locus Penelitian Dan Pengabdian*, 3(7), 558–573.
- [9] B. Layarda, "Solar power plant planning for household scale by the aid pvsyst program," Feb. 2024.
- [10] M. N. Qosim and R. Hariyati, "Kajian Kelayakan Finansial Fotovoltaik Terintegrasi On Grid Dengan Kapasitas 20 kWp," vol. 10, no. 1, pp. 1–9, Apr. 2021.
- [11] N. Pasaribu, R. Rusdianasari, and A. Syarif, "Efficiency of 9KWp Sun Tracking Photovoltaic in Palembang, Indonesia," vol. 347, no. 1, p. 012129, Nov. 2019.
- [12] Arif, S., Arief, A., Said, S. M., & Nappu, M. B. (2024). Design and Evaluation of On-Grid Solar Rooftop Power Plant for Tower I of Ministry 3 Building in the New Indonesian Capital City. 296–302.
- [13] Santoso, N. P. L., Desrianti, D. I., Darmawan, D., Wahid, S. M., Fitriani, A., & Fauzi, A. Y. (2024). Optimizing Solar Energy Adoption through Technological and Economic Initiatives. 1–6.
- [14] Ariyadi, S. B., & Purwanto, W. W. (2024). Development Strategies for Grid-Connected Utility-Scale Solar Photovoltaic to Increase Renewable Energy Penetration. *CSID Journal of Infrastructure Development*, 7(3), 478–495.
- [15] Prasetya, R. Y., Adilla, S. A., Farid, M., Hakim, E. A., & Suhardi, D. (2024). Performance Analysis of the 1 MW Rooftop Solar Power Generation System at the Karawang. *JTE-U (Jurnal Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sidoarjo)*, 8(2), 60–70.
- [16] Bahar, A., Yasirroni, M., & Setyonegoro, M. I. B. (2023). Photovoltaic Penetration with MILP Method and Technical Minimum Loading Consideration. *JNTETI (Jurnal Nasional Teknik Elektro Dan Teknologi Informasi)*, 12(1), 22–28.
- [17] R. Rituraj and P. Kadar, "Performance Analysis of 50 KWp Rooftop Grid-Connected PV System," *International Symposium on Intelligent Systems and Informatics*, pp. 177–182, Sep. 2021. D. J.
- [18] Damiri, S. Legino, and S. Amboro, "Engineering design development of 52,5 KiloWatt peak solar photovoltaic system for industrial Rooftop building," vol. 1402, no. 3, p. 033087, Dec. 2019.
- [19] R. M. Sumsudeen, "Analysis and design of solar pv system using pvsyst software," 2024, pp. 1–16.