

Spatial-Temporal Performance Variability of 1 kWp Polycrystalline PV Systems across Indonesia's Diverse Climate Zones

Article History:

Received

23 January 2026

Revised

24 February 2026

Accepted

30 March 2026

**MUHAMMAD IRSAN, NURUL CHAIRUNNISA NOOR,
MUHAMMAD HAFIS³**

Institut Teknologi Bacharuddin Jusuf Habibie, Indonesia

Email: irsan@ith.ac.id

ABSTRAK

Potensi energi surya di Indonesia sangat besar, namun variabilitas iklim lokal seringkali menyebabkan deviasi antara estimasi desain dan performa riil. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh parameter iklim terhadap kinerja sistem PLTS 1 kWp di enam zona iklim berbeda melalui simulasi PVsyst. Hasil penelitian menunjukkan variasi produksi energi tahunan yang signifikan, dengan nilai tertinggi di Makassar (1.453 kWh/kWp) dan Ternate (1.452 kWh/kWp), sementara terendah di Jakarta (1.293 kWh/kWp). Perbedaan ini dipicu oleh rasio radiasi difus (DIF) yang mencapai 1.001,4 kWh/m² di Jakarta akibat polusi dan tutupan awan tinggi, yang menurunkan Performance Ratio (PR) hingga rata-rata 76%. Penelitian ini menyimpulkan bahwa faktor iklim mikro, khususnya rasio DNI/DIF, lebih menentukan efisiensi sistem dibandingkan rata-rata radiasi harian semata.

Kata kunci: energi surya, iklim, polusi, PVsyst, radiasi.

ABSTRACT

Indonesia has enormous solar energy potential, but local climate variability often causes deviations between design estimates and actual performance. This study aims to analyze the effect of climate parameters on the performance of a 1 kWp solar power system in six different climate zones through PVsyst simulation. The results show significant variations in annual energy production, with the highest values in Makassar (1,453 kWh/kWp) and Ternate (1,452 kWh/kWp), while the lowest is in Jakarta (1,293 kWh/kWp). This difference is triggered by the diffuse radiation (DIF) ratio, which reaches 1,001.4 kWh/m² in Jakarta due to pollution and high cloud cover, which reduces the Performance Ratio (PR) to an average of 76%. This study concludes that microclimate factors, particularly the DNI/DIF ratio, are more decisive for system efficiency than daily average radiation alone.

Keywords: solar energy, climate, Pollution, PVsyst, radiation.

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license



1. PENDAHULUAN

Potensi energi surya di Indonesia sangat besardengan rata-rata 4,8 kWh per meter persegi per hari (**Rahardjo & Fitriana, 2025**). Potensi ini tidak hanya ditunjukkan oleh statistik, tetapi juga menunjukkan banyak peluang untuk mengembangkan sumber energi yang bersih dan berkelanjutan (**Mudhoffar & Magriasti, 2024**). Meningkatnya kebutuhan energi dan kekhawatiran dampak perubahan iklim membuat energi surya menjadi sangat penting untuk diteliti (**Irma F & Gusmira, 2024**) (**Liobikienè, dkk, 2023**). Dalam hal ini, pemerintah Indonesia telah menetapkan target untuk bauran energi terbarukan antara 17-20 persen pada tahun 2025 (**Wuryandani, 2025**). Target dari pemerintah ini menunjukkan komitmennya untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan meningkatkan penggunaan sumber energi yang lebih ramah lingkungan (**Direktorat Jendral Energi Baru Terbarukan, 2022**). Tetapi mencapai target tersebut tidak akan semudah membalikkan telapak tangan. Pengaruh elemen lingkungan, terutama variabel iklim yang sangat beragam di berbagai wilayah Indonesia, merupakan salah satu tantangan utama dalam penerapan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) (**Gunaldi, dkk, 2024**) (**Saputro, dkk, 2024**). Misalnya, pada daerah Indonesia di sekitaran garis khatulistiwa memiliki potensi energi matahari yang lebih besar dibandingkan daerah di bagian selatan maupun utara. Sebaliknya, elemen seperti awan, curah hujan, dan polusi udara juga dapat mempengaruhi efisiensi panel surya (**Kim, 2024**) (**Tarigan, 2020**). Sebagai contoh, wilayah yang sering dilanda hujan seperti Papua mungkin mengalami penurunan efisiensi dalam produksi energi surya dibandingkan dengan wilayah yang lebih kering seperti Nusa Tenggara Timur. Untuk membangun sebuah PLTS diperlukan pemahaman yang sangat baik terkait karakteristik iklim lokal (**Nurhasanah, 2023**). Misalnya, di daerah dengan intensitas sinar matahari yang cukup, pemasangan PLTS dapat dilakukan dengan mudah. Namun, pada daerah dengan curah hujan yang lama, teknologi penyimpanan energi seperti baterai menjadi sangat penting untuk tetap menjamin pasokan listrik yang stabil (**Abid, dkk, 2021**) (**Mudakir, dkk, 2024**). Oleh karena itu, lokasi PLTS harus dipilih dengan mempertimbangkan data iklim dan cuaca setempat.

Selain itu, dukungan dari pemerintah juga penting untuk keberhasilan penerapan PLTS. Kebijakan yang mendukung, seperti insentif pajak, subsidi, dan kemudahan perizinan, dapat mendorong investasi dalam sektor energi surya. Beberapa daerah telah menerapkan program insentif yang menarik bagi investor, yang telah meningkatkan jumlah instalasi PLTS dan menciptakan lapangan kerja lokal. Dalam situasi seperti ini, kerja sama antara sektor publik dan swasta sangat penting untuk menciptakan ekosistem yang mendukung pengembangan energi terbarukan (**Ahsan, 2021**). Sebaliknya, masyarakat harus dididik tentang pentingnya energi terbarukan. Dengan meningkatkan kesadaran masyarakat tentang keuntungan energi surya, proyek PLTS dapat lebih diterima dan didukung. Misalnya, program sosialisasi yang melibatkan komunitas lokal dapat membantu menjelaskan bagaimana teknologi ini bekerja dan bagaimana masyarakat dapat membantu mengurangi emisi karbon (**Nugroho & Rianto, 2022**) (**Evitasari & Komarulzaman, 2023**). Dengan adanya pemahaman yang baik di kalangan masyarakat, proyek PLTS akan lebih mudah diterima dan dilaksanakan.

Selain itu, analisis menyeluruh potensi energi surya Indonesia menunjukkan bahwa ada banyak peluang untuk kemajuan teknologi. Misalnya, peningkatan produktivitas energi dapat dicapai melalui pengembangan panel surya yang lebih efisien dan tahan lama (**Putri, dkk, 2022**). Selain itu, Indonesia dapat memanfaatkan teknologi baru seperti sistem pelacakan matahari untuk memaksimalkan pengambilan sinar matahari sepanjang hari. Dengan menggunakan teknologi terbaru ini, negara tersebut dapat meningkatkan efisiensi dan daya saingnya dalam industri energi terbarukan.

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengeksplorasi potensi PLTS di berbagai wilayah Indonesia. Namun, sebagian besar studi tersebut cenderung bersifat generalis dan seringkali hanya mengacu pada data radiasi global horizontal (GHI) tanpa menganalisis bagaimana perbedaan karakter iklim di zona yang berbeda—seperti pengaruh tutupan awan yang tinggi di Jakarta dibandingkan dengan kejernihan atmosfer di wilayah Timur Indonesia—memengaruhi *yield* energi secara spesifik. Terdapat celah literatur (*research gap*) dalam mengevaluasi kinerja sistem PLTS dengan spesifikasi teknis yang seragam di berbagai zona iklim untuk mengisolasi variabel cuaca sebagai faktor determinan utama.

Penelitian ini bertujuan untuk mengisi celah tersebut dengan melakukan analisis komparatif performa sistem PLTS kapasitas 1 kWp menggunakan modul polycrystalline CSI Solar CS6P-250P di enam lokasi representatif: Banda Aceh, Jakarta, Tanjung Selor, Makassar, Ternate, dan Merauke. Dengan menggunakan metode simulasi numerik pada perangkat lunak PVsyst, penelitian ini tidak hanya memprediksi produksi energi tahunan, tetapi juga menganalisis secara mendalam pengaruh parameter iklim spesifik seperti suhu operasional dan indeks difusitas terhadap *Performance Ratio* (PR) sistem.

2. METODE

2.1 Pendekatan dan Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan simulasi berbasis data iklim dengan perangkat lunak PVsyst untuk menganalisis dampak variasi iklim terhadap kinerja PLTS di Indonesia. Adapun diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.2 Konfigurasi Sistem PLTS

Penelitian ini menggunakan pendekatan simulasi numerik untuk menganalisis pengaruh variabel iklim terhadap kinerja PLTS di Indonesia. Simulasi ini menggunakan perangkat lunak PVsyst dengan konfigurasi sistem PLTS sebagai berikut:

- Modul Surya: CSI Solar CS6P-250P, polycrystalline silicon, 250 Wp.
- Inverter: MPPT converter generik untuk sistem *stand-alone*.
- Kapasitas Sistem: 1 kWp (4 modul x 250 Wp)
- Kemiringan (*Tilt*): 0° (datar, mensimulasikan instalasi atap rata).
- Azimuth: 0° (menghadap ke utara, sesuai rekomendasi belahan bumi selatan).

Desain penelitian bersifat komparatif untuk menganalisis perbedaan kinerja sistem PLTS pada berbagai kondisi iklim di Indonesia. Pemilihan lokasi dilakukan secara purposif dengan mempertimbangkan variasi geografis dan klasifikasi iklim. Sebanyak enam lokasi dipilih sebagai sampel studi, yang dibagi secara strategis menjadi tiga lokasi di belahan utara dan tiga lokasi di belahan selatan garis khatulistiwa. Stratifikasi ini dilakukan untuk menangkap variabilitas parameter lingkungan yang krusial seperti intensitas radiasi matahari, suhu *ambient* dan lain-lain yang diduga kuat mempengaruhi efisiensi dan output energi PLTS. Keenam lokasi tersebut adalah Aceh, Jakarta, Tanjung Selor, Makassar, Ternate dan Merauke:



Gambar 2. Pemilihan lokasi

Pemilihan lokasi-lokasi yang terlihat pada Gambar 2 diatas diharapkan dapat memberikan gambaran yang komprehensif dan *representative* tentang performa PLTS di seluruh kepulauan Indonesia. Data irradiansi matahari (GHI, DNI) diperoleh dari data base *Global Solar Atlas* (GSA) yang memiliki akurasi dan reliabilitas tinggi untuk studi pra-kelayakan.

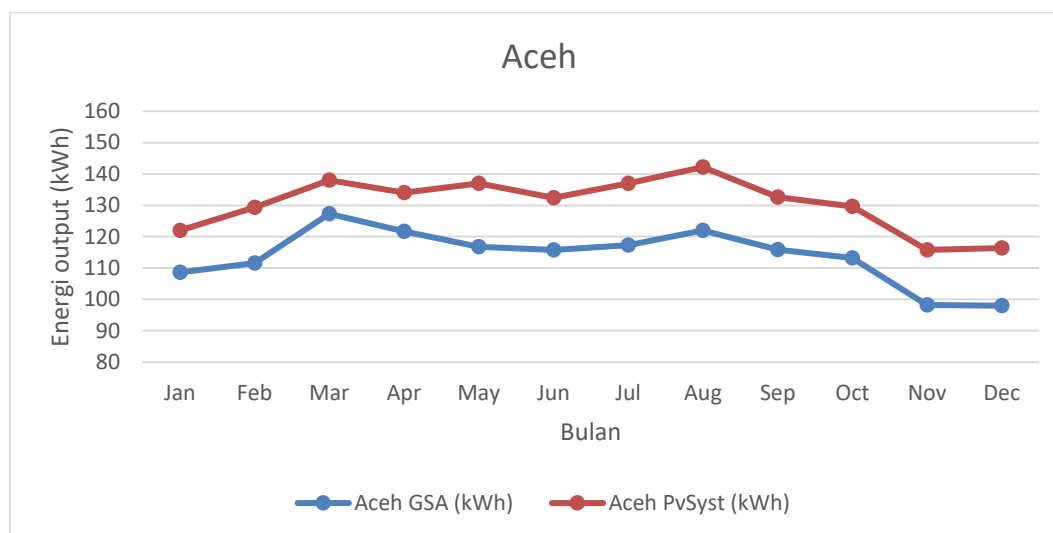
Penelitian ini menggunakan metode simulasi numerik dengan perangkat lunak PVsyst. Data iklim diperoleh dari GSA dan NASA untuk enam lokasi representatif Indonesia: Banda Aceh, Jakarta, Tanjung Selor, Makassar, Ternate, dan Merauke. Konfigurasi sistem PLTS yang disimulasikan adalah berkapasitas 1 kWp dengan 4 modul CSI Solar CS6P-250P *polycrystalline silicon* (250 Wp), inverter generik tipe MPPT, tilt 0°, dan azimuth 0°. Analisis korelasi antara profil iklim lokal dengan stabilitas output energi secara musiman, yang diharapkan dapat menjadi referensi teknis bagi pengembang kebijakan dan praktisi dalam merancang sistem PLTS yang lebih presisi dan adaptif terhadap karakteristik iklim unik di berbagai wilayah Indonesia.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Perhitungan Potensi Energi Surya

A. Potensi energi di Banda Aceh

Perhitungan potensi energi listrik yang dihasilkan di lokasi Banda Aceh yang didapatkan dari dua sumber, yaitu GSA dan PVsyst. Hasil simulasi energi output (kWh) perbulan dari keduanya dapat dilihat pada Gambar 3.



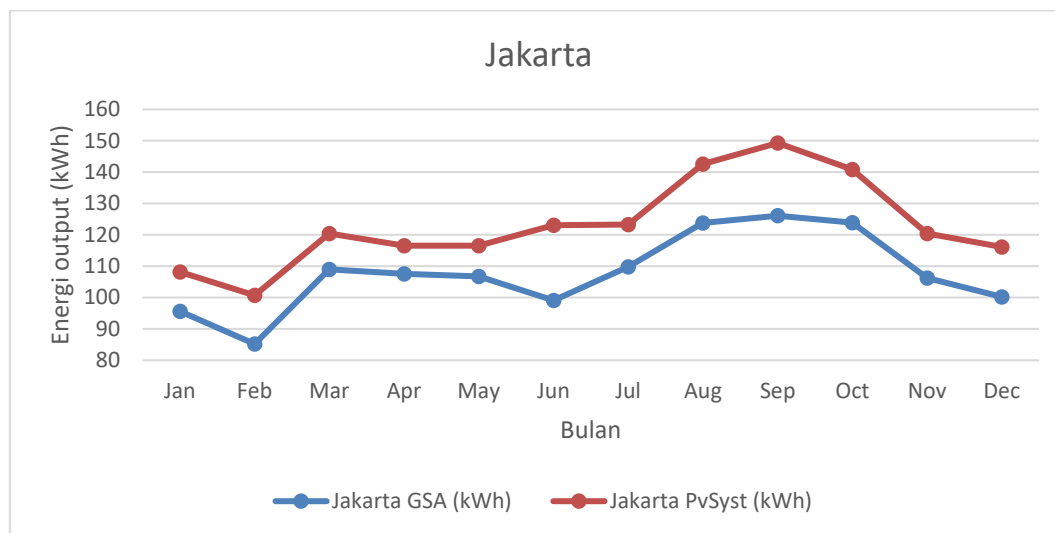
Gambar 3. Grafik hasil simulasi energi di Banda Aceh

Grafik tersebut membandingkan estimasi produksi energi bulanan di Aceh berdasarkan dua sumber data berbeda, yaitu Aceh GSA dan Aceh PvSyst (hasil simulasi *software*). Secara keseluruhan, terlihat bahwa nilai estimasi dari PvSyst secara konsisten berada di atas data GSA sepanjang tahun dengan selisih yang cukup stabil, yakni sekitar 15–20 kWh setiap bulannya. Kedua parameter ini menunjukkan tren kenaikan produksi di awal tahun yang mencapai puncaknya pada bulan Maret, diikuti oleh fluktuasi yang relatif terjaga pada level tinggi selama periode pertengahan tahun.

Meskipun terdapat perbedaan dalam penentuan bulan dengan produksi absolut tertinggi dan terendah, kesamaan pola (*pattern similarity*) pada kedua kurva tersebut sangat jelas. Perbedaan nilai absolut ini diduga kuat disebabkan oleh perbedaan dalam algoritma modeling yang digunakan oleh masing-masing perangkat sistem, particularly dalam memodelkan dampak spesifik dari faktor lingkungan seperti awan, kelembaban, dan presipitasi terhadap transmisi atmosfer. Sebagai contoh, pergeseran puncak produksi dari Maret (GSA) ke Agustus (PvSyst) mengindikasikan bahwa model PvSyst mungkin lebih sensitif dalam menangkap fenomena aerosol *loading* atau *variability irradiance diffuse-to-direct ratio* yang terjadi di akhir musim kemarau. Temuan ini selaras dengan penelitian yang menyatakan bahwa aerosol meningkatkan *diffuse fraction* dan efeknya pada PV bervariasi wilayah (**Yang, dkk, 2022**). Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa walaupun terdapat deviasi kuantitatif, kedua model tersebut secara kualitatif telah valid dalam merepresentasikan pengaruh iklim musiman Indonesia terhadap kinerja PLTS.

B. Potensi energi di Jakarta

Hasil perhitungan potensi energi Listrik yang dihasilkan oleh sistem fotovoltaik (PV) di lokasi Jakarta yang didapatkan dari dua sumber, yaitu GSA dan PVSyst. Hasil simulasi energi output (kWh) perbulan dari keduanya dapat dilihat pada pada Gambar 4.



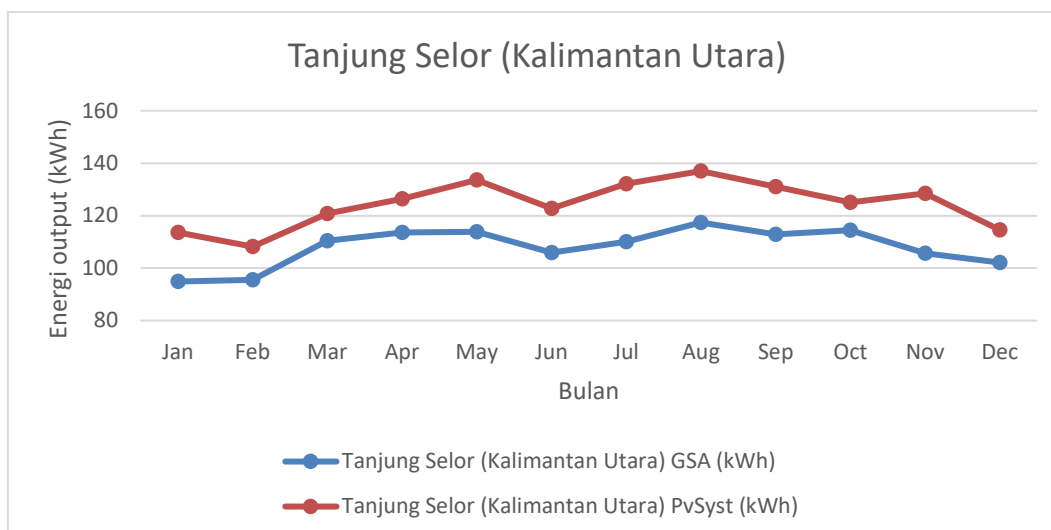
Gambar 4. Grafik hasil simulasi energi di Jakarta

Berdasarkan grafik untuk wilayah Jakarta, terlihat pola fluktuasi produksi energi (kWh) yang sangat dipengaruhi oleh dinamika iklim tropis di Pulau Jawa. Secara keseluruhan, data menunjukkan adanya perbedaan nilai yang konsisten antara kedua model, di mana Jakarta PvSyst memberikan estimasi yang lebih optimis (lebih tinggi) dibandingkan Jakarta GSA. Titik terendah produksi terjadi pada bulan Februari, dengan nilai GSA menyentuh angka sekitar 85 kWh. Secara ilmiah, penurunan tajam di awal tahun ini berkorelasi langsung dengan puncak musim hujan (Monsun Barat) di wilayah Jakarta yang ditandai dengan tingginya tutupan awan (*cloud cover*) dan kelembapan udara, sehingga mereduksi intensitas iradiasi matahari yang diterima panel surya.

Memasuki pertengahan hingga kuartal ketiga tahun tersebut, produksi energi mengalami tren kenaikan yang signifikan dan mencapai puncaknya pada bulan September, di mana nilai PVSyst mencapai angka hampir 150 kWh. Lonjakan ini mencerminkan karakteristik musim kemarau di Jakarta yang didominasi oleh kondisi langit cerah (*clear sky*). Selain faktor cuaca, posisi semu matahari yang mendekati garis khatulistiwa pada periode September (ekuinoкс) juga mengoptimalkan sudut datang sinar matahari, sehingga meningkatkan efisiensi penyerapan energi. Celah (*gap*) antara kedua kurva ini menunjukkan pentingnya pertimbangan margin keamanan dalam perencanaan PLTS, di mana PVSyst kemungkinan memperhitungkan parameter teknis yang lebih spesifik dibandingkan data satelit generik dari GSA.

C. Potensi energi di Tanjung Selor

Hasil perhitungan potensi energi listrik yang dihasilkan oleh sistem PV di Lokasi Tanjung Selor, Kalimantan Utara yang didapatkan dari dua sumber, yaitu GSA dan PVSyst. Hasil simulasi energi output (kWh) perbulan dari keduanya dapat dilihat grafiknya pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik hasil simulasi energi di Tanjung Selor

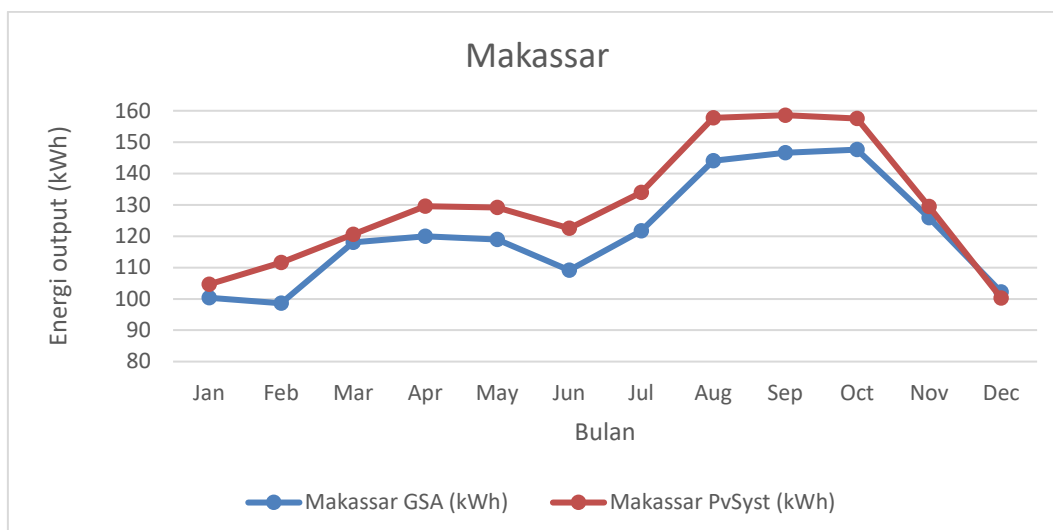
Berdasarkan grafik untuk wilayah Tanjung Selor, Kalimantan Utara, terlihat profil estimasi produksi energi (kWh) yang memiliki karakteristik fluktuasi unik dibandingkan wilayah lain di Indonesia. Secara konsisten, kurva Tanjung Selor PvSyst berada di atas kurva Tanjung Selor GSA dengan selisih atau gap rata-rata berkisar antara 15–20 kWh per bulan. Hal ini menunjukkan adanya perbedaan parameter input dalam pemodelan, di mana PVSyst kemungkinan memperhitungkan efisiensi sistem yang lebih spesifik, sementara GSA menyajikan data radiasi matahari berbasis satelit yang lebih umum.

Tren produksi energi di Tanjung Selor menunjukkan pola yang cenderung bergejolak (volatile) sepanjang tahun. Titik terendah produksi terpantau pada bulan Januari dan Februari, di mana nilai GSA berada di bawah 100 kWh. Secara ilmiah, rendahnya produksi di awal tahun ini berkaitan dengan tingginya intensitas curah hujan di wilayah Kalimantan Utara yang dipengaruhi oleh angin monsun, yang mengakibatkan tutupan awan tebal sehingga mengurangi penetrasi radiasi matahari ke permukaan bumi.

Kenaikan produksi terlihat mulai bulan Maret dan mencapai puncak tertingginya pada bulan Agustus, dengan estimasi PvSyst menyentuh angka sekitar 137 kWh. Selain itu, terdapat puncak sekunder pada bulan Mei. Karena Tanjung Selor terletak sangat dekat dengan garis khatulistiwa, fluktuasi energi di sini tidak hanya dipengaruhi oleh perubahan musim secara global, tetapi juga oleh fenomena konveksi lokal. Hal ini menjelaskan mengapa grafik Tanjung Selor tampak lebih banyak memiliki "bukit dan lembah" kecil dibandingkan wilayah yang jauh dari khatulistiwa, karena pembentukan awan konvektif lokal di Kalimantan terjadi hampir sepanjang tahun secara dinamis.

D. Potensi energi di Makassar

Hasil perhitungan potensi energi Listrik yang dihasilkan oleh sistem PV di Lokasi Makassar, Sulawesi Selatan yang didapatkan dari dua sumber, yaitu GSA dan PVSyst. Hasil simulasi energi output (kWh) perbulan dari keduanya dapat dilihat grafiknya pada Gambar 6.



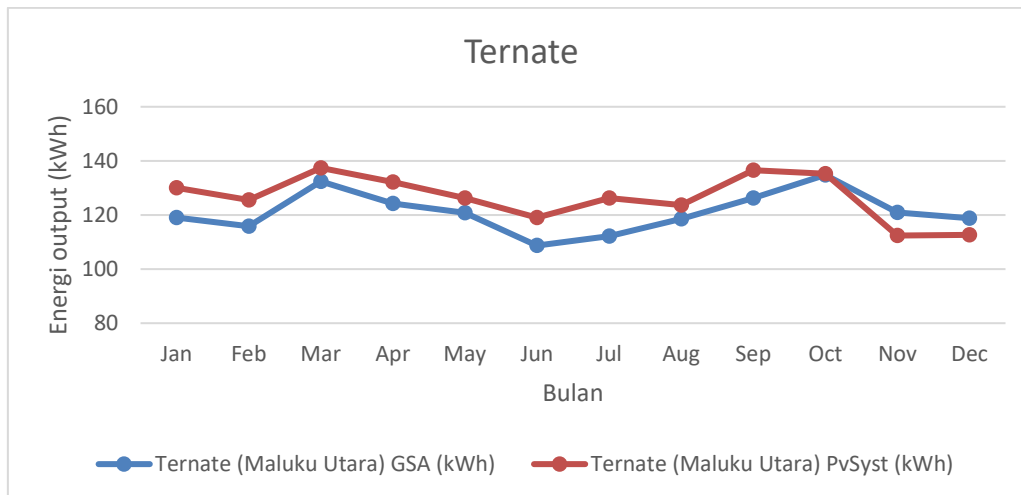
Gambar 6. Grafik hasil simulasi energi di Makassar

Data menunjukkan bahwa Makassar memiliki periode produktivitas energi surya yang sangat tinggi pada kuartal ketiga, tepatnya antara bulan Agustus hingga Oktober. Pada periode ini, nilai PvSyst mencapai puncaknya di angka sekitar 158 kWh, sementara GSA berada di kisaran 147 kWh. Secara ilmiah, lonjakan signifikan ini berkaitan erat dengan karakteristik iklim wilayah Sulawesi Selatan yang mengalami musim kemarau sangat kering dengan tingkat tutupan awan (cloud cover) yang sangat minimal. Selain itu, posisi astronomis Makassar yang berada di belahan bumi selatan membuat intensitas iradiasi mencapai titik optimal ketika matahari bergerak kembali ke arah khatulistiwa pada bulan September (ekuinoks).

Berbeda dengan awal tahun yang cenderung stabil di angka 100–120 kWh, terdapat penurunan performa yang sangat tajam dari bulan Oktober menuju Desember. Pada bulan Desember, produksi energi merosot hingga menyentuh titik terendah di sekitar 100 kWh. Menariknya, pada bulan Desember ini, kedua kurva (GSA dan PvSyst) saling berhimpit. Hal ini mengindikasikan bahwa pada saat puncak musim hujan di Makassar (Monsun Barat), faktor pembatas seperti tutupan awan yang sangat tebal dan curah hujan ekstrem menjadi variabel yang begitu dominan sehingga model simulasi teknis (PvSyst) maupun data satelit (GSA) memberikan estimasi minimum yang sama.

E. Potensi energi di Ternate

Hasil perhitungan potensi energi Listrik yang dihasilkan oleh sistem PV di Lokasi Ternate, Maluku Utara yang didapatkan dari dua sumber, yaitu GSA dan PvSyst. Hasil simulasi energi output (kWh) perbulan dari keduanya dapat dilihat pada Gambar 7.



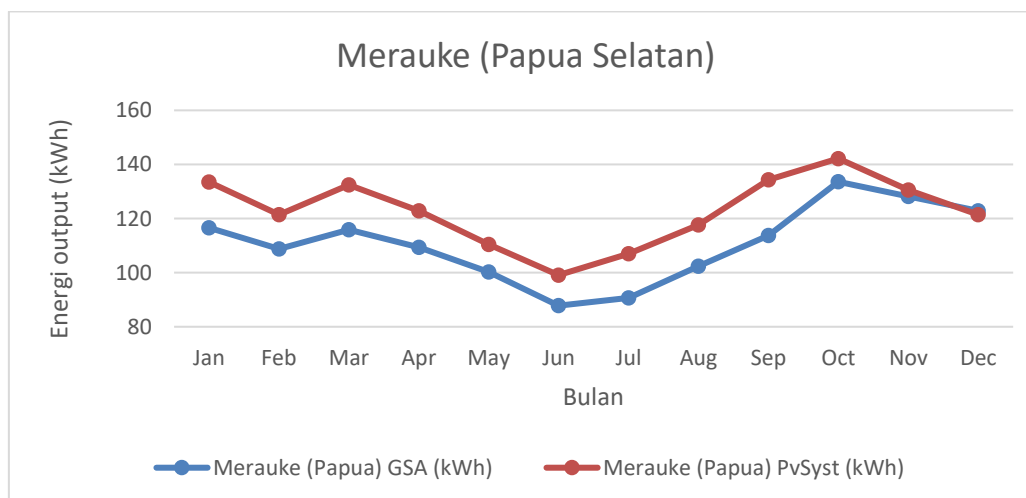
Gambar 7. Grafik hasil simulasi energi di Ternate

Ternate menunjukkan dua puncak produksi utama yang terjadi pada bulan Maret dan September/Oktober. Puncak pertama di bulan Maret mencapai angka sekitar 137 kWh pada model PvSys. Secara ilmiah, fenomena ini berkaitan erat dengan posisi matahari yang berada tepat di atas garis khatulistiwa (ekuinoks), sehingga intensitas radiasi matahari mencapai titik maksimum di wilayah lintang rendah seperti Ternate. Penurunan di bulan Juni (GSA menyentuh ~108 kWh) mencerminkan pergeseran sudut datang matahari ke belahan bumi utara dan pengaruh dinamika awan lokal.

Hal yang paling mencolok pada grafik Ternate adalah kondisi pada bulan Oktober, di mana kedua kurva bertemu (converge) pada titik yang sama yaitu sekitar 135 kWh. Memasuki bulan November dan Desember, terjadi anomali di mana nilai GSA (sekitar 119–121 kWh) justru lebih tinggi dibandingkan nilai PvSys (sekitar 111–113 kWh). Pola ini berbeda signifikan dengan wilayah Makassar atau Jakarta, di mana PvSys biasanya tetap lebih dominan.

F. Potensi energi di Merauke

Hasil simulasi energi di Merauke, output (kWh) perbulan dari keduanya dapat dilihat grafiknya pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik hasil simulasi energi di Merauke

Karakteristik paling mencolok dari grafik Merauke adalah penurunan produksi yang sangat drastis pada pertengahan tahun, dengan titik terendah (nadir) terjadi pada bulan Juni, di mana nilai GSA merosot hingga di bawah 90 kWh dan PvSyst berada sedikit di bawah 100 kWh. Secara ilmiah, fenomena ini disebabkan oleh letak geografis Merauke yang berada di belahan bumi selatan. Pada bulan Juni, posisi semu matahari berada pada titik paling utara (titik balik matahari musim panas di utara), yang menyebabkan sudut datang sinar matahari di Merauke menjadi lebih miring dan durasi penyinaran menjadi lebih pendek, sehingga intensitas radiasi yang diterima permukaan panel menurun secara alami.

Sebaliknya, produksi energi meningkat tajam menuju akhir tahun dan mencapai puncaknya pada bulan Oktober, dengan nilai PvSyst mencapai angka tertinggi sekitar 142 kWh. Lonjakan ini terjadi seiring dengan pergerakan matahari kembali ke arah selatan dan biasanya bertepatan dengan puncak musim kemarau di wilayah Papua bagian selatan yang dipengaruhi oleh massa udara kering dari Australia. Kondisi langit yang sangat cerah (*clear sky*) tanpa hambatan awan pada bulan September dan Oktober memungkinkan penyerapan energi surya secara maksimal.

3.2. Analisis Performance Ratio (PR) dan Dampak Variabel Iklim

Performance Ratio adalah indikator efisiensi sistem setelah dikurangi segala jenis losses (suhu, pencahayaan, *wiring*, dll). PR dihitung sebagai persentase (PV_{Out}/GHI). Tabel 1 menyajikan perkiraan rata-rata PR tahunan serta data suhu tiap Lokasi.

Tabel 1. Perkiraan rata-rata Performance Ratio (PR) dan Data Iklim Pendukung

Lokasi	Yield (kWh/thn)	GHI (kWh/m ² /thn)	PR (~%)	Suhu Udara (°C)	DNI (kWh/m ² /thn)	DIF (kWh/m ² /thn)
Banda Aceh	1366,4	1791,4	~76,3	26,7	1240	856,7
Jakarta	1293,3	1692,6	~76,4	26,6	926,2	1001,4
Tanjung Selor	1296,8	1700,9	~76,2	26,3	1133,3	887,1
Makassar	1453,1	1913,1	~76,0	26,8	1542	782,6
Ternate	1452,4	1900	~76,4	26,8	1511,7	790,4
Merauke	1330,2	1743	~76,3	26,6	1203,1	890,1

Berdasarkan Tabel 1, nilai PR semua lokasi sangat berdekatan. Namun, data iklim pendukung memberikan wawasan yang lebih mendalam:

- a. Pengaruh Jenis Irradiasi: Perbandingan antara DNI (Cahaya langsung) dan DIF (cahaya diffuse) sangat penting. Lokasi dengan rasio DNI/GHI yang tinggi seperti Makassar dan Ternate secara alami lebih optimal untuk teknologi PLTS yang memanfaatkan cahaya matahari langsung (seperti sistem konsetrator atau bahkan sistem *fixed-tilt* pada umumnya). Sebaliknya, Jakarta memiliki DIF tertinggi yang menunjukkan bahwa langitnya lebih sering berawan. Ini menjelaskan mengapa *yield*-nya lebih rendah meskipun GHI-nya tidak jauh berbeda dari Tanjung Selor. Sistem PV yang dihasilkan biasanya dengan efisiensi yang lebih rendah.
- b. Pengaruh Suhu: Meskipun semua Lokasi memiliki suhu yang sangat mirip (berkisar 26,3 – 26,8 °C), perbedaan kecil ini tetap berkontribusi pada *temperature losses*. Makassar dan Ternate, dengan suhu rata-rata 26,8 °C (tertinggi), berpotensi

mengalami *temperature losses* yang sedikit lebih besar dibandingkan Tanjung Selor (26,3 °C).

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa variabilitas iklim lokal di berbagai wilayah Indonesia secara signifikan memengaruhi performa sistem PLTS 1 kWp, meskipun menggunakan spesifikasi teknis yang seragam. Berdasarkan simulasi PVsyst, ditemukan variasi produksi energi tahunan yang cukup lebar, dengan Makassar (1.453,1 kWh/tahun) dan Ternate (1.452,4 kWh/tahun) sebagai wilayah dengan potensi energi tertinggi, sementara Jakarta mencatatkan nilai terendah (1.293,3 kWh/tahun). Faktor penentu efisiensi bukan hanya rata-rata radiasi harian (GHI), melainkan rasio antara cahaya langsung (DNI) dan cahaya difus (DIF). Jakarta memiliki nilai DIF tertinggi (1.001,4 kWh/m²/tahun) akibat polusi udara dan tutupan awan yang tinggi, yang secara langsung menurunkan hasil energi (*yield*) dibandingkan wilayah lain. Produksi energi juga menunjukkan pola musiman yang unik di setiap zona. Wilayah belahan bumi selatan seperti Merauke mengalami penurunan tajam pada pertengahan tahun (Juni) akibat sudut datang matahari yang miring. Sebaliknya, wilayah ekuatorial seperti Ternate menunjukkan pola puncak ganda (bimodal) yang dipengaruhi oleh fenomena ekuinoks pada bulan Maret dan September.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam penelitian ini penulis ingin mengucapkan terima kasih atas Hibah DPPM Kemdiktisaintek melalui skema Penelitian Dosen Pemula (PDP) dengan kontrak nomor 014/C3/DT.05.00/PL/2025 tahun 2025.

DAFTAR RUJUKAN

- Abid, H., dkk. (2021). Energy storage integration with solar PV for increased electricity access: A case study of Burkina Faso. *Energy*, 230. Elsevier Ltd.
- Ahsan, M. (2021). Tantangan dan Peluang Pembangunan Proyek Pembangkit Listrik Energi Baru Terbarukan (EBT) di Indonesia. *SUTET*, 11(2), 81–93. Sekolah Tinggi Teknik-PLN. Direktorat Jendral Energi Baru Terbarukan. (2022). Laporan Kinerja Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi Tahun 2022.
- Evitasari, N., & Komaruzaman, A. (2023). Pengaruh Pendanaan Iklim terhadap Penurunan Emisi Karbon melalui Energi Terbarukan di Indonesia. *Jurnal Ekonomi dan Pembangunan Indonesia*, 23(2), 183–194. Retrieved from <https://scholarhub.ui.ac.id/jepi/vol23/iss2/5/>
- Gunaldi, G., dkk. (2024). *Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap untuk Mendorong Net Zero Emission di Kawasan Pemukiman* (Vol. 1).
- Irma F, M., & Gusmira, E. (2024). Tingginya Kenaikan Suhu Akibat Peningkatan Emisi Gas Rumah Kaca Di Indonesia, 2(1).

- Kim, M. J. (2024). Air Pollution and Solar Photovoltaic Power Generation: Evidence from South Korea. *Energy Economics*, 139. Elsevier B.V.
- Liobikienė, G., dkk. (2023). The concern about main crises such as the Covid-19 pandemic, the war in Ukraine, and climate change's impact on energy-saving behavior. *Energy Policy*, 180. Elsevier Ltd.
- Mudakir, Aripriharta, & Wibawa, A. P. (2024). Analysis of battery energy storage system (BESS) performance in reducing the impact of variable renewable energy generation intermittency on the electricity system. *Journal of Mechatronics, Electrical Power, and Vehicular Technology*, 15(2), 158–176. National Research and Innovation Agency (BRIN).
- Mudhoffar, K., & Magriasti, L. (2024). Ekonomi Politik Energi Terbarukan: Peluang dan Tantangan di Indonesia. *Multiverse: Open Multidisciplinary Journal*, 3(1), 47–52. Medan Resource Center.
- Nugroho, D., & Rianto, A. (2022). Strategi Indonesia Dalam Mengurangi Emisi Karbon Dioksida (CO₂) Di Masa New Normal. <https://e-journal.umc.ac.id/index.php/IP/article/view/2712>, 1(1), 228–242.
- Nurhasanah, F, A. (2023). Kajian Perubahan Iklim Terhadap Efisiensi Panel Surya Sebagai Sumber Energi Alternatif Di Indonesia, 2(2), 366.
- Putri, W, S., Marausna, G., & Prasetyo, E. (2022). Analisis Pengaruh Intensitas Cahaya Matahari Terhadap Daya Keluaran Pada Panel Surya. *Teknika STTKD: Jurnal Teknik, Elektronik, Engine*, 8(1), 29–37. Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan Yogyakarta.
- Rahardjo, I., & Fitriana, I. (n.d.). ANALISIS POTENSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA DI INDONESIA. Retrieved March 22, 2025, from https://www.oocities.org/markal_bppt/publish/pltkcl/plrahard.pdf
- Saputro, P, F., Umam, F, M., & Rizaldy, N. (2024). Studi Kelayakan Pemasangan PLTS Atap di Gedung TUK Scaffolding PPSDM Migas. Retrieved from <https://doi.org/10.37525/mz/2024->
- Tarigan, E. (2020). Rooftop PV system policy and implementation study for a household in Indonesia. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 10(5), 110–115. Econjournals.
- Wuryandani, D. (2025). *Perubahan target bauran energi baru terbarukan Indonesia*. Retrieved March 22, 2025, from https://berkas.dpr.go.id/pusaka/files/isu_sepekan/Isu%20Sepekan---III-PUSLIT-Februari-2025-206.pdf

Yang, dkk. (2022). Diverse cloud and aerosol impacts on solar photovoltaic potential in southern China and northern India. *Scientific Reports*, 12(1). Nature Research.