

Analisis Optimasi Azimuth dan Sudut Kemiringan pada Sistem PLTS 1 kWp di Desa Parangargo

¹Zaki Hanif Izzet, ²Machmud Effendy*, ³Riko Dwi Firmansyah, ⁴Khusnul Hidayat
^{1,2,3,4}Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Malang, Malang, Indonesia
¹zakiizzethanif@gmail.com, ²machmud@umm.ac.id (corresponding author),
³rikodwifirmansyah14@webmail.umm.ac.id, ⁴khusnulhidayat@umm.ac.id

Abstract - Photovoltaic (PV) systems have become one of the most promising renewable energy technologies in tropical regions such as Indonesia. The performance of photovoltaic systems is strongly influenced by installation parameters, particularly azimuth orientation and tilt angle. This study aims to determine the optimal azimuth and tilt angle configuration for a 1000 Wp rooftop photovoltaic system installed in Parangargo Village, Malang Regency. The research employed PVsyst software to simulate annual energy production under several azimuth and tilt angle configurations. Furthermore, the simulation results were validated using Global Solar Atlas data to evaluate the consistency of photovoltaic performance estimation. The results indicate that tilt angle optimization has a more significant influence on annual energy production than azimuth angle variation. The optimum configuration was obtained at an azimuth angle of -1° and a tilt angle of 7° , resulting in an annual energy production of 1370.64 kWh/year. These findings provide practical guidance for optimizing rooftop photovoltaic system installation in tropical environments with similar geographical characteristics.

Keywords — Azimuth, Photovoltaic System, PVsyst, Solar Energy, Tilt Angle

Abstrak—Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan salah satu teknologi energi terbarukan yang memiliki potensi besar untuk dikembangkan di wilayah tropis seperti Indonesia. Kinerja sistem PLTS sangat dipengaruhi oleh parameter pemasangan panel surya, terutama orientasi azimuth dan sudut kemiringan panel. Penelitian ini bertujuan menentukan konfigurasi optimum sudut azimuth dan sudut kemiringan pada sistem PLTS atap 1000 Wp di Desa Parangargo, Kabupaten Malang. Metode penelitian menggunakan simulasi PVsyst dengan beberapa variasi konfigurasi sudut azimuth dan sudut kemiringan untuk memperoleh produksi energi tahunan yang optimum. Hasil simulasi kemudian divalidasi menggunakan data Global Solar Atlas untuk mengevaluasi konsistensi hasil penelitian. Hasil penelitian menunjukkan bahwa optimasi sudut kemiringan memberikan pengaruh yang lebih signifikan dibandingkan variasi sudut azimuth terhadap produksi energi tahunan. Konfigurasi optimum diperoleh pada sudut azimuth -1° dan sudut kemiringan 7° dengan produksi energi tahunan sebesar 1370,64 kWh/tahun. Hasil penelitian ini dapat menjadi referensi dalam optimasi pemasangan sistem PLTS atap pada wilayah tropis.

Kata Kunci—Azimuth, PLTS, PVsyst, Energi Surya, Sudut Kemiringan

I. PENDAHULUAN

Peningkatan kebutuhan energi dan isu perubahan iklim mendorong pengembangan teknologi energi terbarukan sebagai alternatif sumber energi yang berkelanjutan. Salah satu teknologi yang berkembang pesat adalah Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) karena mampu mengkonversi energi radiasi matahari menjadi energi listrik dengan emisi karbon yang relatif rendah. Indonesia sebagai negara yang berada di wilayah tropis memiliki potensi energi surya yang besar karena memperoleh intensitas penyinaran matahari yang relatif stabil sepanjang tahun. Kondisi tersebut menjadikan pemanfaatan PLTS sebagai salah satu solusi yang potensial dalam mendukung transisi energi dan pengembangan sistem energi berkelanjutan di Indonesia [1], [2], [3].

Kinerja sistem PLTS sangat dipengaruhi oleh orientasi pemasangan panel surya, terutama sudut azimuth dan sudut kemiringan (tilt angle). Kedua parameter tersebut menentukan besarnya radiasi matahari yang diterima oleh permukaan panel surya sehingga secara langsung mempengaruhi efisiensi sistem dan produksi energi tahunan yang dihasilkan. Pemilihan konfigurasi sudut yang tidak sesuai dapat menyebabkan meningkatnya rugi-rugi sistem dan

menurunkan produksi energi yang dihasilkan. Oleh karena itu, optimasi sudut azimuth dan sudut kemiringan menjadi salah satu aspek penting dalam perancangan sistem PLTS, khususnya pada wilayah tropis yang memiliki karakteristik lintasan matahari yang berbeda dengan wilayah subtropis maupun empat musim [4], [5], [6].

Berbagai penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa sudut kemiringan optimum panel surya umumnya dipengaruhi oleh kondisi geografis lokasi pemasangan. Penelitian yang dilakukan oleh Mehleri dkk. menunjukkan bahwa optimasi sudut kemiringan dan orientasi panel surya mampu meningkatkan produksi energi tahunan secara signifikan. Selain itu, beberapa penelitian lain juga melaporkan bahwa sistem PLTS pada wilayah tropis cenderung memiliki sudut kemiringan optimum yang relatif kecil dan mendekati nilai lintang geografis lokasi pemasangan. Di sisi lain, orientasi azimuth juga berpengaruh terhadap distribusi radiasi matahari yang diterima panel surya meskipun pengaruhnya relatif lebih kecil dibandingkan sudut kemiringan pada wilayah yang berada di sekitar garis khatulistiwa [7], [8], [9], [10].

Perkembangan perangkat lunak simulasi seperti PVsyst memberikan kemudahan dalam melakukan analisis performa sistem PLTS dengan mempertimbangkan parameter lingkungan, orientasi panel surya, serta rugi-rugi sistem yang terjadi. Melalui simulasi PVsyst, produksi energi tahunan, distribusi radiasi matahari, dan efisiensi sistem dapat diprediksi secara lebih akurat sebelum implementasi dilakukan. Selain itu, validasi menggunakan Global Solar Atlas dapat digunakan untuk mengevaluasi potensi energi surya pada suatu wilayah sehingga hasil simulasi yang diperoleh menjadi lebih reliabel [11], [12], [13], [14], [15].

Berbagai penelitian sebelumnya telah membahas pengaruh orientasi dan sudut kemiringan terhadap kinerja sistem fotovoltaik. Penelitian mengenai penentuan sudut kemiringan dan orientasi optimum pada photovoltaic arrays menunjukkan pemilihan orientasi panel dapat memengaruhi penerimaan radiasi matahari dan produksi energi [5]. Penelitian pada wilayah ekuatorial juga menunjukkan bahwa sudut kemiringan optimum dipengaruhi oleh karakteristik geografis lokasi pemasangan [6]. Penelitian lainnya menganalisis variasi sudut kemiringan pada sistem photovoltaic water pumping untuk memperoleh konfigurasi yang sesuai dengan kondisi sistem [7]. Optimasi sudut kemiringan berdasarkan levelized cost of energy juga telah dilakukan untuk mengevaluasi konfigurasi sistem fotovoltaik [8].

Meskipun penelitian sebelumnya telah membahas optimasi orientasi dan sudut kemiringan panel surya, karakteristik sistem dan lokasi penelitian masih berbeda dengan sistem PLTS yang dikaji pada penelitian ini. Penelitian sebelumnya umumnya berfokus pada optimasi sudut kemiringan, jenis sistem tertentu, atau aspek ekonomi sistem fotovoltaik [5], [6], [7], [8]. Penelitian yang secara khusus menganalisis kombinasi sudut azimuth dan sudut kemiringan pada sistem PLTS atap berkapasitas 1000 Wp di Desa Parangargo masih terbatas. Selain itu, kombinasi simulasi menggunakan PVsyst dan validasi menggunakan data Global Solar Atlas pada sistem PLTS 1000 Wp di lokasi tersebut belum dibahas pada penelitian terdahulu yang digunakan dalam penelitian ini.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi sudut azimuth dan sudut kemiringan terhadap produksi energi tahunan sistem PLTS 1000 Wp di Desa Parangargo menggunakan PVsyst. Hasil simulasi selanjutnya divalidasi menggunakan data Global Solar Atlas untuk mengevaluasi kesesuaian hasil yang diperoleh. Kontribusi penelitian ini adalah menentukan konfigurasi sudut azimuth dan sudut kemiringan optimum yang sesuai dengan karakteristik lokasi penelitian. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konfigurasi optimum diperoleh pada sudut azimuth -1° dan sudut kemiringan 7° dengan produksi energi tahunan sebesar 1370,64

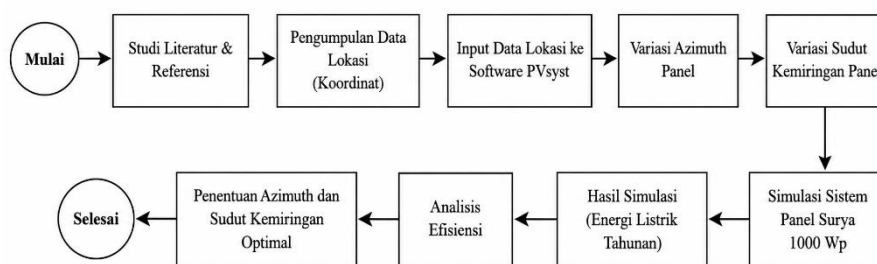
kWh/tahun. Hasil tersebut juga menunjukkan bahwa sudut kemiringan memberikan pengaruh yang lebih signifikan dibandingkan variasi sudut azimuth terhadap produksi energi tahunan sistem PLTS yang diteliti.

II. METODE PENELITIAN

A. Tahapan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode simulasi dengan perangkat lunak PVsyst untuk menganalisis pengaruh variasi sudut azimuth dan sudut kemiringan terhadap kinerja sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) berkapasitas 1000 Wp di Desa Parangargo, Kabupaten Malang. Tahapan penelitian diawali dengan studi literatur mengenai optimasi orientasi panel surya, dilanjutkan dengan pengumpulan data lokasi penelitian, pemodelan sistem PLTS, simulasi menggunakan PVsyst, analisis hasil simulasi, dan validasi menggunakan Global Solar Atlas.

Tahapan penelitian secara umum ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

B. Tahap Pengambilan Data

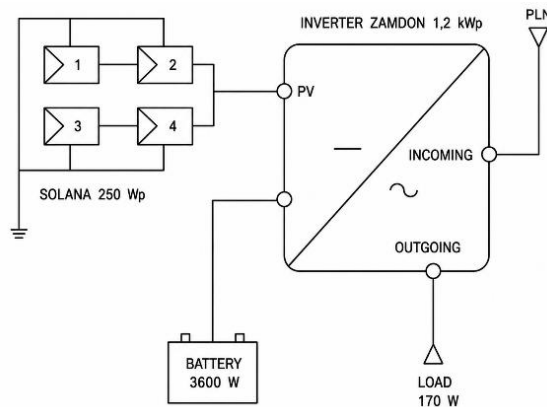
Tahap pengambilan data dilakukan dengan mengumpulkan seluruh parameter yang dibutuhkan sebagai masukan simulasi pada perangkat lunak PVsyst. Data yang digunakan meliputi koordinat geografis Desa Parangargo, potensi radiasi matahari, spesifikasi modul fotovoltaik, spesifikasi inverter, kapasitas sistem sebesar 1000 Wp, serta konfigurasi variasi sudut azimuth dan sudut kemiringan panel surya. Selain data teknis sistem, penelitian ini juga menggunakan data radiasi matahari dari basis data meteorologi yang tersedia pada PVsyst. Selanjutnya, hasil simulasi dibandingkan dengan data Global Solar Atlas sebagai proses validasi terhadap konfigurasi optimum sistem PLTS.

Tabel 1 menunjukkan parameter yang digunakan dalam penelitian.

Tabel 1. Parameter Penelitian

Parameter	Spesifikasi
Lokasi	Desa Parangargo, Kabupaten Malang
Kapasitas Sistem	1000 Wp
Jenis Sistem	Fixed PV System
Software	PVsyst
Variabel Bebas	Sudut Azimuth dan Sudut Kemiringan
Variabel Terikat	Produksi Energi Tahunan
Validasi	Global Solar Atlas

Selanjutnya konfigurasi sistem PLTS yang digunakan dalam simulasi ditunjukkan pada Gambar 2.

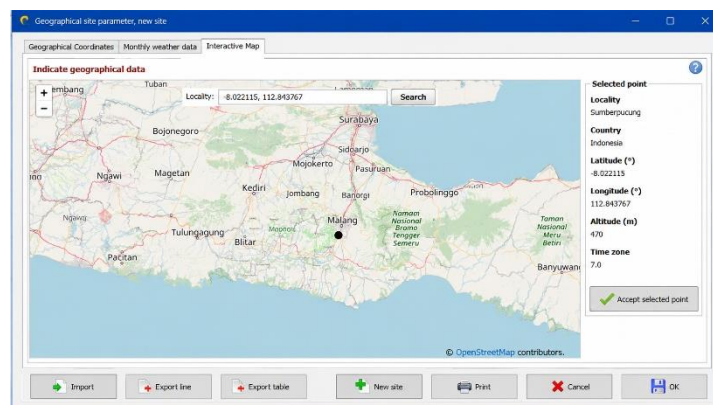


Gambar 2. Desain Sistem PLTS

C. Tahap Analisis Data

Tahap analisis data dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi pada setiap variasi sudut azimuth dan sudut kemiringan panel surya. Parameter yang dianalisis meliputi Global Tilted Irradiance (GTI), produksi energi tahunan, serta efisiensi sistem PLTS. Nilai produksi energi tahunan digunakan sebagai indikator utama dalam menentukan konfigurasi optimum sistem. Konfigurasi yang menghasilkan produksi energi terbesar selanjutnya dibandingkan dengan rekomendasi yang diperoleh dari Global Solar Atlas untuk mengetahui tingkat kesesuaian hasil simulasi. Perbedaan hasil antara kedua metode dianalisis berdasarkan karakteristik data meteorologi, metode perhitungan, serta asumsi rugi-rugi sistem yang digunakan.

Diagram lokasi penelitian yang digunakan sebagai dasar simulasi ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Lokasi Penelitian Desa Parangargo

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

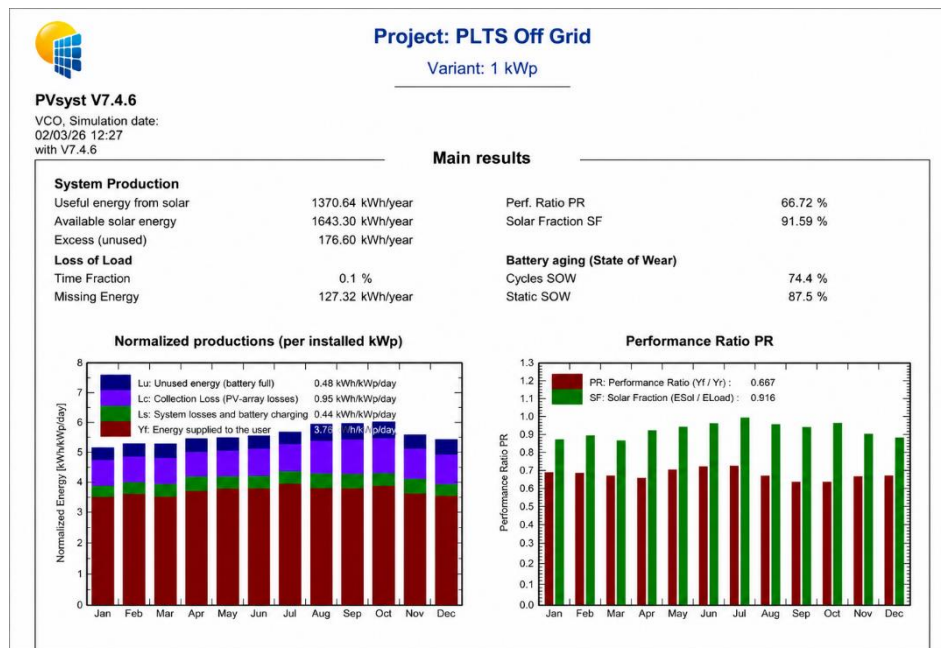
A. Hasil Simulasi Variasi Sudut Azimuth

Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak PVsyst dengan beberapa variasi sudut azimuth pada sistem PLTS berkapasitas 1000 Wp yang dipasang di Desa Parangargo, Kabupaten Malang. Variasi sudut azimuth yang

digunakan meliputi $+3^\circ$, $+2^\circ$, $+1^\circ$, 0° , -1° , -2° , dan -3° . Seluruh simulasi dilakukan dengan mempertahankan parameter sistem lainnya tetap sama sehingga pengaruh perubahan orientasi panel terhadap produksi energi tahunan dapat diamati secara langsung.

Tabel 2. Hasil Simulasi Variasi Sudut Azimuth

NO	Azimuth ($^\circ$)	Tilt ($^\circ$)	Produksi Energi (kWh/tahun)
1	+3	9	1370.10
2	+2	8	1370.09
3	+1	8	1370.13
4	0	7	1370.30
5	-1	7	1370.64
6	-2	8	1370.45
7	-3	9	1370.63



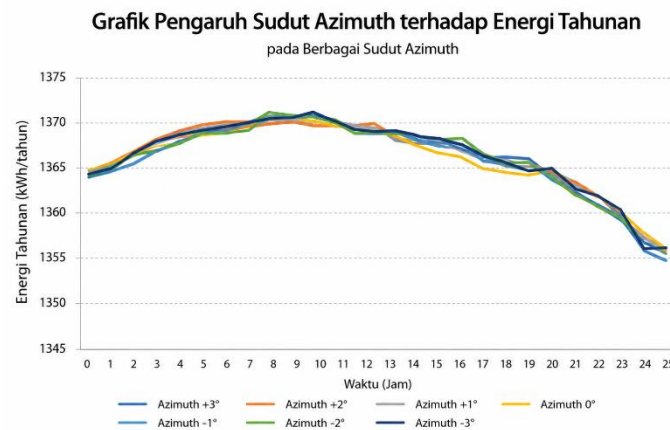
Gambar 4. Grafik Produksi Energi terhadap Variasi Sudut Azimuth

Berdasarkan Tabel 2 terlihat bahwa perubahan sudut azimuth memberikan pengaruh terhadap produksi energi tahunan, namun perbedaannya relatif kecil. Produksi energi tertinggi diperoleh pada konfigurasi azimuth -1° dengan nilai 1370,64 kWh/tahun, sedangkan produksi energi terendah terjadi pada azimuth $+2^\circ$ sebesar 1370,09 kWh/tahun. Selisih energi yang dihasilkan hanya sekitar 0,55 kWh/tahun, sehingga menunjukkan bahwa orientasi azimuth di wilayah tropis yang berada dekat garis khatulistiwa tidak memberikan perubahan yang signifikan terhadap performa sistem PLTS.

Fenomena tersebut terjadi karena lintasan matahari di wilayah tropis relatif simetris sepanjang tahun sehingga radiasi matahari masih dapat diterima secara optimal meskipun terjadi sedikit perubahan orientasi panel. Oleh karena itu, pengaturan sudut azimuth lebih berfungsi sebagai optimasi tambahan dibandingkan sebagai faktor utama yang menentukan produksi energi sistem.

B. Pengaruh Variasi Sudut Kemiringan terhadap Produksi Energi Tahunan

Selain variasi sudut azimuth, penelitian ini juga menganalisis pengaruh sudut kemiringan (tilt angle) terhadap produksi energi tahunan sistem PLTS. Variasi sudut kemiringan dilakukan mengikuti konfigurasi yang direkomendasikan oleh PVsyst untuk memperoleh penerimaan radiasi matahari yang maksimum pada lokasi penelitian.



Gambar 5. Pengaruh Sudut Kemiringan terhadap Produksi Energi Tahunan pada Berbagai Variasi Sudut Azimuth

Gambar 5 menunjukkan hubungan antara sudut kemiringan panel surya dengan produksi energi tahunan pada berbagai variasi sudut azimuth. Produksi energi meningkat hingga mencapai nilai optimum pada kisaran 7° , kemudian menurun secara bertahap seiring bertambahnya sudut kemiringan. Perbedaan produksi energi antarvariasi azimuth relatif kecil, sehingga menunjukkan bahwa sudut kemiringan memberikan pengaruh yang lebih dominan dibandingkan sudut azimuth. Berdasarkan hasil simulasi, konfigurasi optimum diperoleh pada azimuth -1° dan sudut kemiringan 7° dengan produksi energi tahunan sebesar 1370,64 kWh/tahun.

C. Analisis Produksi Energi Tahunan

Produksi energi tahunan digunakan sebagai indikator utama dalam menentukan konfigurasi terbaik sistem PLTS. Nilai produksi energi diperoleh melalui simulasi PVsyst yang mempertimbangkan karakteristik modul fotovoltaik, inverter, data meteorologi, serta rugi-rugi sistem.

Tabel 3. Konfigurasi Optimum Sistem PLTS

NO	Parameter	Nilai
1	Kapasitas Sistem	1000 Wp
2	Azimuth Optimum	-1°
3	Tilt Optimum	7°
4	Produksi Energi Tahunan	1370,64 kWh/tahun

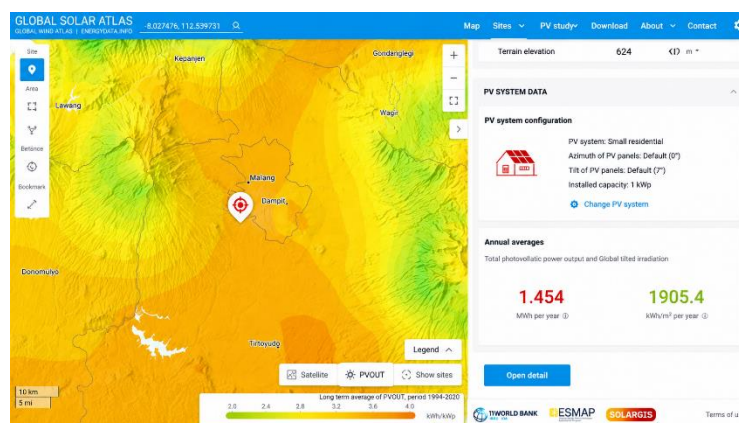
Berdasarkan hasil simulasi, konfigurasi dengan sudut azimuth -1° dan sudut kemiringan 7° menghasilkan produksi energi tahunan terbesar yaitu 1370,64 kWh/tahun. Nilai tersebut menunjukkan bahwa orientasi panel surya memiliki

peran penting dalam meningkatkan pemanfaatan radiasi matahari tanpa memerlukan penambahan kapasitas modul fotovoltaik.

Untuk mengevaluasi kesesuaian hasil simulasi PVsyst, hasil konfigurasi optimum dibandingkan dengan data Global Solar Atlas pada lokasi penelitian. Berdasarkan Global Solar Atlas, konfigurasi yang direkomendasikan memiliki sudut azimuth 0° dan sudut kemiringan 12° dengan estimasi produksi energi tahunan sebesar 1454 kWh/tahun.

Tabel 4. Perbandingan Hasil PVsyst dan Global Solar Atlas

NO	Parameter	PVsyst	Global Solar Atlas
1	Kapasitas Sistem	1000 Wp	1000 Wp
2	Azimuth Optimum	-1°	0°
3	Tilt Optimum	7°	12°
4	Produksi Energi Tahunan	1370,64 kWh/tahun	1454 kWh/tahun



Gambar 6. Data Global Solar Atlas pada Desa Parangargo.

Berdasarkan Tabel 4, hasil PVsyst dan Global Solar Atlas menunjukkan perbedaan pada konfigurasi optimum sistem PLTS. PVsyst menghasilkan sudut azimuth optimum sebesar -1° , sedangkan Global Solar Atlas menghasilkan sudut azimuth sebesar 0° . Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa kedua pendekatan memberikan rekomendasi orientasi panel yang relatif berdekatan. Perbedaan yang lebih terlihat terdapat pada sudut kemiringan. PVsyst menghasilkan sudut kemiringan optimum sebesar 7° , sedangkan Global Solar Atlas memberikan rekomendasi sebesar 12° . Perbedaan hasil tersebut dapat dipengaruhi oleh metode perhitungan, data meteorologi, dan asumsi sistem yang digunakan oleh masing-masing platform.

Produksi energi tahunan yang diperoleh dari PVsyst sebesar 1370,64 kWh/tahun, sedangkan Global Solar Atlas memberikan estimasi sebesar 1454 kWh/tahun. PVsyst menggunakan parameter sistem dan komponen yang lebih terperinci dalam proses simulasi, sedangkan Global Solar Atlas memberikan estimasi potensi energi surya berdasarkan data berbasis satelit. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa Global Solar Atlas dapat digunakan sebagai data pembandingan untuk mengevaluasi hasil simulasi PVsyst.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi PVsyst, konfigurasi optimum sistem PLTS 1000 Wp di Desa Parangargo diperoleh pada sudut azimuth -1° dan sudut kemiringan 7° dengan produksi energi tahunan sebesar 1370,64 kWh/tahun. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sudut kemiringan memberikan pengaruh yang lebih signifikan dibandingkan sudut

azimuth terhadap produksi energi sistem. Perbandingan dengan Global Solar Atlas menunjukkan azimuth 0° , sudut kemiringan 12° , dan estimasi produksi energi sebesar 1454 kWh/tahun. Hasil ini menunjukkan adanya perbedaan estimasi antara kedua platform yang dapat menjadi bahan evaluasi dalam menentukan konfigurasi PLTS pada wilayah tropis dengan karakteristik geografis serupa.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Alfalah, "Analyzing the effect of altering solar photovoltaic panel azimuth angles on energy production," *Results Eng.*, vol. 29, no. December 2025, p. 109237, 2026, doi: 10.1016/j.rineng.2026.109237.
- [2] A. Barbón, C. Bayón-Cueli, L. Bayón, and C. Rodríguez-Suanzes, "Analysis of the tilt and azimuth angles of photovoltaic systems in non-ideal positions for urban applications," *Appl. Energy*, vol. 305, p. 117802, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.apenergy.2021.117802.
- [3] R. Bakhshi-Jafarabadi and C. Doh Dinga, "Optimum tilt and azimuth of fixed grid-connected photovoltaic system for peak load shaving: a multi-scale model," *Renew. Energy*, vol. 255, no. January, 2025, doi: 10.1016/j.renene.2025.123714.
- [4] M. Baqir and H. K. Channi, "Analysis and design of solar PV system using Pvsyst software," *Mater. Today Proc.*, vol. 48, pp. 1332–1338, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.09.029>.
- [5] E. D. Mehleri, P. L. Zervas, H. Sarimveis, J. A. Palyvos, and N. C. Markatos, "Determination of the optimal tilt angle and orientation for solar photovoltaic arrays," *Renew. Energy*, vol. 35, no. 11, pp. 2468–2475, 2010, doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.03.006>.
- [6] N. Mukisa and R. Zamora, "Optimal tilt angle for solar photovoltaic modules on pitched rooftops: A case of low latitude equatorial region," *Sustain. Energy Technol. Assessments*, vol. 50, p. 101821, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101821>.
- [7] J. Vishnupriyan, P. Partheeban, A. Dhanasekaran, and M. Shiva, "Analysis of tilt angle variation in solar photovoltaic water pumping system," *Mater. Today Proc.*, vol. 58, pp. 416–421, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.02.353>.
- [8] K. Osmani, M. Ramadan, T. Lemenand, B. Castanier, and A. Haddad, "Optimization of PV array tilt angle for minimum levelized cost of energy," *Comput. Electr. Eng.*, vol. 96, p. 107474, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2021.107474>.
- [9] S. Yadav, C. Hachem-Vermette, S. K. Panda, G. N. Tiwari, and S. S. Mohapatra, "Determination of optimum tilt and azimuth angle of BiSPVT system along with its performance due to shadow of adjacent buildings," *Sol. Energy*, vol. 215, pp. 206–219, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.12.033>.
- [10] M. Fariz, M. Sadeq, and N. Sellami, "Integrated simulation and optimisation framework for techno-economic evaluation of BIPV systems: A Scottish case study," *e-Prime - Adv. Electr. Eng. Electron. Energy*, vol. 13, no. August, 2025, doi: 10.1016/j.prime.2025.101091.
- [11] L. Raji, A. A. Razak, and A. F. Sharol, "Comparative assessment of PV simulation tools for a megawatt-scale rooftop solar photovoltaic system in tropical climate," *Next Energy*, vol. 9, no. September, p. 100452, 2025, doi: 10.1016/j.nxener.2025.100452.
- [12] E. González-González, J. Martín-Jiménez, M. Sánchez-Aparicio, S. Del Pozo, and S. Lagüela, "Evaluating the standards for solar PV installations in the Iberian Peninsula: Analysis of tilt angles and determination of solar climate zones," *Sustain. Energy Technol. Assessments*, vol. 49, 2022, doi: 10.1016/j.seta.2021.101684.
- [13] M. Effendy, K. Hidayat, and E. A. Hakim, "An Experimental Validation of a Photovoltaic Emulator with Dual Loop PI Control for Accurate MPPT Testing," *Eng. Technol. Appl. Sci. Res.*, vol. 16, no. 2, pp. 34492–34497, 2026, doi: 10.48084/etasr.17464.
- [14] S. A. Hosseini, S. A. Mansoori Al-yasin, M. Gheibi, and R. Moezzi, "Evaluation of Solar Energy Performance in Green Buildings Using PVsyst: Focus on Panel Orientation and Efficiency," *Eng.*, vol. 6, no. 7, pp. 1–19, 2025, doi: 10.3390/eng6070137.
- [15] M. Effendy, K. Hidayat, and H. N. A. Humaidi, "An Interleaved Isolated Flyback Converter with MPPT using Modified P&O Algorithm for Photovoltaic Generators," *Eng. Technol. Appl. Sci. Res.*, vol. 15, no. 3, pp.

22295–22300, 2025, doi: 10.48084/etasr.10385.