

Analisis Pengaruh Sudut Kemiringan Terhadap Efisiensi Energi pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Menggunakan *System Advisor Model Software*

Muhammad Irsan^{1*}, Nurul Chairunnisa Noor¹, Rhamadhana Sultan¹

¹Teknik Sistem Energi, Jurusan Teknologi Produksi dan Industri, Institut Teknologi Bacharuddin Jusuf Habibie, Jl. Balaikota No.1, Kota Parepare, Sulawesi Selatan 91122.

Penulis untuk Korespondensi/E-mail: irsan@ith.ac.id

Abstract— With an emphasis on Indonesia's solar energy potential, this study investigates how panel tilt angle affects energy efficiency in solar power-producing systems. Economic expansion is increasing the energy demand, which is driving a search for affordable, sustainable, and ecologically friendly renewable energy sources. Because solar power plants use sunlight to generate energy, it is crucial to design systems considering variations in sunshine intensity brought on by elements such as solar panel tilt angle. This experiment shows that adjusting the tilt angle can maximize solar energy absorption and increase conversion efficiency. By collecting meteorological data from a representative site in Makassar and conducting experiments with tilt degrees ranging from 0° to 60°, a dogmatic approach was taken. According to the results, an ideal tilt angle of 10° produces the most energy output each year, however angles between 30° and 40° work best from May to August when sunlight is at its strongest. The results show that to optimize solar energy efficiency and encourage the use of renewable energy, tilt angle modifications must be made appropriately based on seasonal variations.

Abstrak - Dengan penekanan pada potensi energi surya di Indonesia, penelitian ini mencari bagaimana sudut kemiringan panel mempengaruhi efisiensi energi pada sistem pembangkit listrik tenaga surya. Pertumbuhan ekonomi meningkatkan permintaan energi, mendorong pencarian sumber energi terbarukan yang terjangkau, berkelanjutan, dan ramah lingkungan. Karena pembangkit listrik tenaga surya menggunakan sinar matahari untuk menghasilkan energi, sangat penting untuk merancang sistem yang mempertimbangkan variasi intensitas sinar matahari yang disebabkan oleh elemen-elemen seperti sudut kemiringan panel surya. Penelitian ini memperlihatkan bahwa penyesuaian sudut kemiringan dapat memaksimalkan penyerapan energi matahari dan meningkatkan efisiensi konversi. Dengan mengumpulkan data meteorologi dari lokasi yang representatif di Makassar dan melakukan penelitian dengan derajat kemiringan mulai dari 0° hingga 60°. Hasilnya, sudut kemiringan ideal 10° menghasilkan output energi paling banyak setiap tahun, namun sudut antara 30° dan 40° bekerja paling baik dari bulan Mei hingga Agustus ketika sinar matahari paling kuat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk mengoptimalkan efisiensi energi matahari dan mendorong penggunaan energi terbarukan, modifikasi sudut kemiringan harus dilakukan secara tepat berdasarkan variasi musim.

Keywords – Efficiency, Renewable Energy, Solar Power, Tilt Angle.

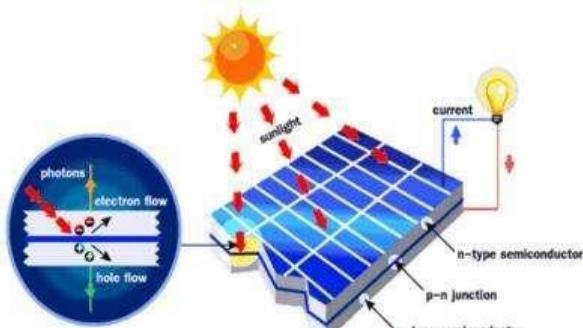
PENDAHULUAN

Salah satu kebutuhan utama manusia adalah energi, namun masalah energi mulai muncul ketika permintaan energi untuk menopang pertumbuhan ekonomi beberapa negara menjadi lebih besar, yang membuat cadangan energi

konvensional menjadi sedikit. Dalam mencari sumber energi baru harus mempertimbangkan beberapa hal seperti menghasilkan jumlah energi yang cukup besar, biaya ekonomis dan tidak berdampak negatif terhadap lingkungan. Salah satu cara untuk menghasilkan energi terbarukan adalah dengan mengubah energi matahari menjadi listrik.

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) adalah salah satu jenis energi terbarukan yang mengubah energi dari sinar matahari menjadi energi listrik untuk menggantikan energi fosil [1],[2].

Indonesia yang lokasinya di garis khatulistiwa, mendapatkan banyak sinar matahari sepanjang tahun. Energi surya adalah sumber energi terbarukan yang potensial yang dapat digunakan dimanapun di Indonesia [3] Pemerintah dan pengembang saat ini berpartisipasi aktif dalam pembangunan PLTS, namun karena dampak pembangunan terutama pada lingkungan sekitar, penting untuk berhati-hati untuk menghindari kerusakan yang dapat menyebabkan perubahan iklim. PLTS tidak menggunakan sumber energi fosil untuk memenuhi kebutuhan energi masyarakat sehari-hari, menjadikannya sumber energi yang ramah lingkungan. Teknologi *photovoltaic* (PV) dapat secara langsung mengubah energi matahari menjadi listrik melalui konsep sistem kerja fotovoltaik [4]. Menurut data dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), kapasitas PLTS di Indonesia meningkat pesat, meningkat dari 65,2 MW pada tahun 2018 menjadi 271,6 MW pada tahun 2022 [5].



Gambar 1. Ilustrasi Cara Kerja PLTS [6]

Pada Gambar 1 dapat kita lihat cara kerja PLTS dalam mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Ketika sinar matahari (foton) mengenai permukaan sel surya, energi foton diserap oleh material semikonduktor sehingga membebaskan elektron dari ikatan atomnya. Sel surya tersusun atas lapisan semikonduktor tipe-p dan tipe-n yang membentuk sambungan p-n junction. Medan listrik internal pada sambungan ini mendorong elektron mengalir ke sisi tipe-n dan hole (lubang) ke sisi tipe-p, sehingga tercipta perbedaan potensial. Aliran elektron melalui rangkaian luar menghasilkan arus listrik yang dapat dimanfaatkan untuk menyalakan beban, seperti lampu pada ilustrasi

Salah satu masalah utama dengan sistem photovoltaic adalah jumlah daya keluaran yang dihasilkan yang relatif tidak konstan karena dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari yang berbeda-beda [7],[8]. Sudut kemiringan panel surya adalah komponen penting yang mempengaruhi efisiensi konversi energi PLTS. Sudut kemiringan yang ideal dapat meningkatkan penyerapan cahaya matahari, yang pada gilirannya menghasilkan lebih banyak energi.

"Photovoltaic" berasal dari kata "photo" dan "volta", yang masing-masing berarti cahaya (dari bahasa Yunani phos, photos: cahaya) dan "volta", yang berasal dari nama seorang fisikawan Italia bernama Alessandro Volta, yang hidup dari tahun 1745 hingga 1827 [9]. Dengan kata lain, konsep photovoltaic mengacu pada proses mengubah cahaya matahari langsung menjadi energi listrik. Akibatnya, istilah "photovoltaic" sering disingkat dengan "photovoltaic". Elemen aktif (semikonduktor) yang memanfaatkan efek photovoltaic dapat menghasilkan energi listrik dari energi surya tanpa menggunakan bagian mekanis yang bergerak atau bahan bakar.

Ketergantungan pada intensitas cahaya yang diterima oleh panel adalah komponen penting dari proses ini. Banyak faktor seperti sudut kemiringan panel, waktu dalam sehari dan kondisi cuaca, memengaruhi intensitas cahaya yang diterima oleh panel yang dipasang dengan sudut yang tepat akan menerima lebih banyak sinar matahari yang pada gilirannya meningkatkan efisiensi konversi energi [10],[11].

Dalam konteks yang lebih luas, penggunaan PLTS dapat berdampak besar pada lingkungan dan ekonomi [12]. Hal ini karena PLTS mengurangi ketergantungan kita pada sumber energi fosil dan membantu kita mengurangi emisi gas rumah kaca yang berbahaya. Selain itu investasi dalam teknologi energi terbarukan seperti PLTS dapat menciptakan lapangan kerja baru dan mendorong pertumbuhan ekonomi di sektor energi bersih [13]. Banyak negara saat ini beralih ke penggunaan energi terbarukan.

Sudut Kemiringan Panel Surya

Salah satu faktor penting yang mempengaruhi efisiensi sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) adalah sudut kemiringan panel surya, yang merujuk pada sudut yang terjadi antara permukaan panel surya dan garis horizontal. Sangat penting untuk menentukan sudut kemiringan yang tepat karena dapat memaksimalkan penyerapan cahaya

matahari sepanjang tahun yang pada gilirannya meningkatkan jumlah energi yang dihasilkan.

Sudut kemiringan yang mempengaruhi penyerapan cahaya matahari telah menjadi subjek banyak penelitian. Posisi Matahari yang berubah tiap waktu, menyebabkan penerimaan intensitas cahaya matahari pada PLTS juga akan berubah [14]. Hal ini menunjukkan bahwa penyesuaian sudut kemiringan secara berkala dapat menjadi metode yang efektif untuk meningkatkan efisiensi energi pada PLTS.

Selain itu, penting untuk mempertimbangkan variabel tambahan yang dapat mempengaruhi efisiensi sudut kemiringan. Orientasi panel dan kemungkinan bayangan dari objek di sekitarnya adalah contohnya. Faktor penting dalam penyerapan cahaya adalah posisi panel surya yang biasanya menghadap ke arah selatan di belahan bumi utara dan ke arah utara di belahan bumi selatan. Panel yang dipasang dengan sudut kemiringan dan orientasi yang tepat dapat meningkatkan efisiensi konversi energi hingga 20% dibandingkan dengan panel yang dipasang secara horizontal. Studi menunjukkan bahwa penempatan panel di tempat tidak terhalang oleh pohon atau bangunan dapat secara signifikan meningkatkan hasil energi [15].

Sudut kemiringan panel surya adalah komponen penting yang mempengaruhi efisiensi sistem pembangkit listrik tenaga surya. Pemilik PLTS dapat mengoptimalkan penyerapan cahaya matahari dengan mempertimbangkan lokasi geografis, waktu dalam setahun, orientasi dan bayangan. Penggunaan sistem pelacak otomatis atau penyesuaian sudut kemiringan berkala dapat meningkatkan efisiensi energi secara signifikan[16], [17]. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk memahami sudut kemiringan dan dampaknya terhadap produksi energi surya.

Perhitungan Daya Panel Surya

Fill Factor (FF) atau daya pengisi merupakan perbandingan daya maksimum yang dihasilkan sel Surya dengan Perkalian antara V_{oc} dan I_{sc} pada persamaan (1).

$$FF = \frac{P_{mp}}{V_{oc} \times I_{sc}} \quad (1)$$

Dalam mencari daya daya keluaran (*Output*), dapat dicari dengan rumus (2).

$$P_{out} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF \quad (2)$$

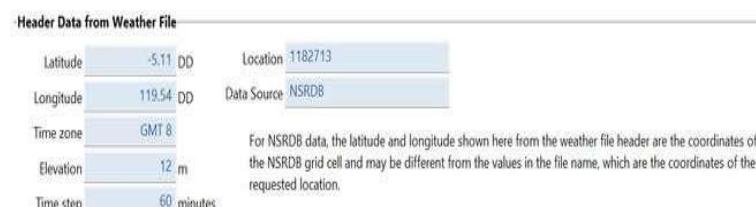
METODE

Desain Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam studi ini adalah dengan melakukan eksperimen untuk mengukur efisiensi energi pada berbagai sudut kemiringan panel surya. Penelitian ini akan melibatkan pengukuran output energi dari panel surya yang dipasang pada sudut kemiringan yang berbeda, serta analisis data menggunakan Software System Advisor Model (SAM) versi 2021.12.02 for windows yang dikembangkan oleh National Renewable Energy Laboratory (NREL).

Lokasi Penelitian

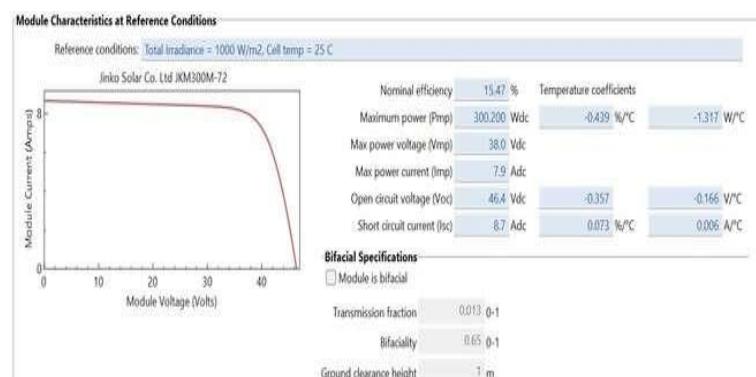
Lokasi penelitian dipilih adalah titik rumah pribadi (Gambar 2) salah satu peneliti yakni di Kelurahan Bakung, Kecamatan Biringkanaya, Kota Makassar, Provinsi Sulawesi Selatan ($5^{\circ}11'S$ $119^{\circ}54'E$) yang data meteorologinya diambil dari National Solar Radiation Database (NSRDB-NREL). Data penelitian yang digunakan selama satu tahun untuk mendapatkan data yang representatif dari berbagai kondisi cuaca *Typical Meteorological Year* (TMY). Adapun sudut kemiringan yang dipakai pada penelitian ini mulai dari 0° sampai dengan 60° .



Gambar 2. Titik Lokasi Penelitian

Tipe Panel

Pada penelitian ini, peneliti menggunakan tipe panel Jinko Solar Co. Ltd JKM300M-72 yang merupakan jenis *monocrystalline* dengan kapasitas 300 Wp sebanyak 12 Buah (Gabar 3).



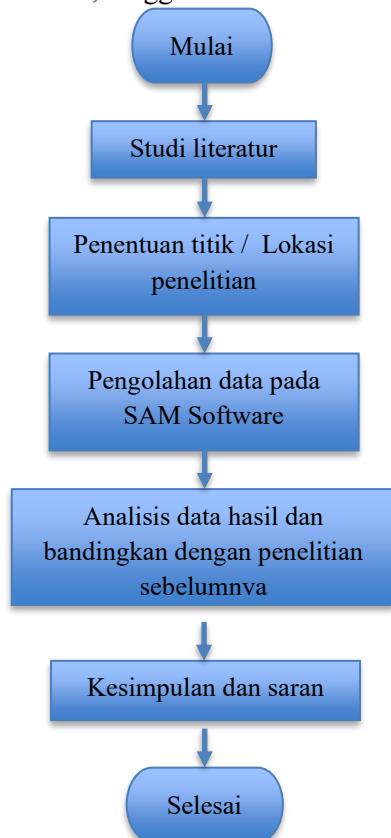
Gambar 3. Spesifikasi Panel

Teknik Pengumpulan Data

Pengukuran efisiensi energi akan disimulasikan menggunakan Software SAM. Data akan diambil pada berbagai sudut kemiringan, mulai dari 0° hingga 60° , dengan interval 10° .

Diagram Alir

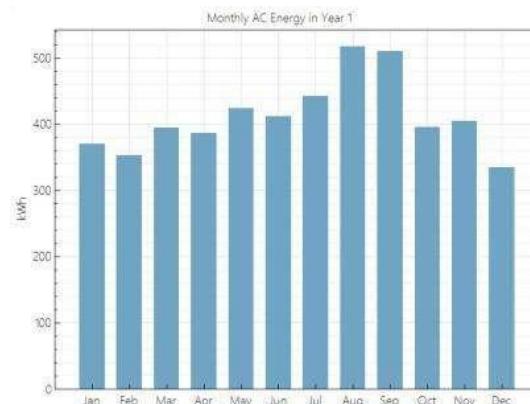
Gambar 4 adalah diagram alir penelitian yang dilakukan dari mulai penelitian, persiapan, pengolahan data, hingga selesai.



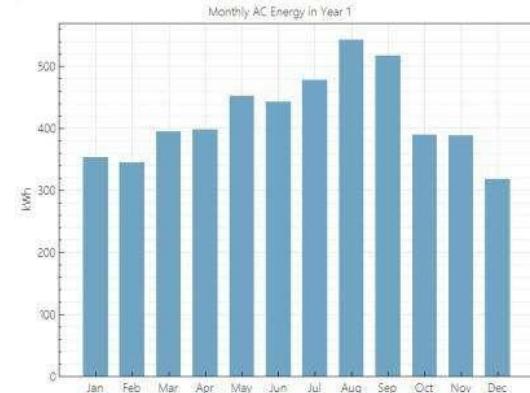
Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

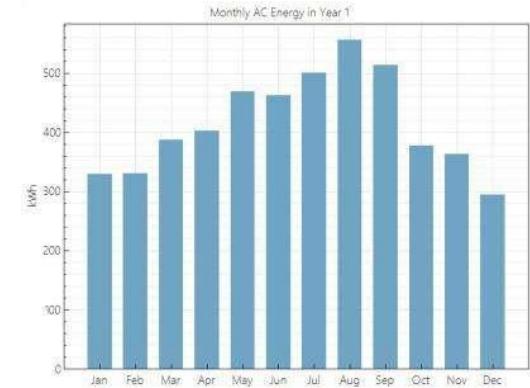
Hasil pengukuran energi dapat dilihat dari gambar Gambar 5 sampai Gambar 11, menunjukkan grafik energi pada kemiringan 0° dan tiap gambar grafik diambil pada posisi kemiringan dengan interval 10° sampai dengan gambar ke 11 yang menunjukkan grafik energi pada kemiringan 60° .



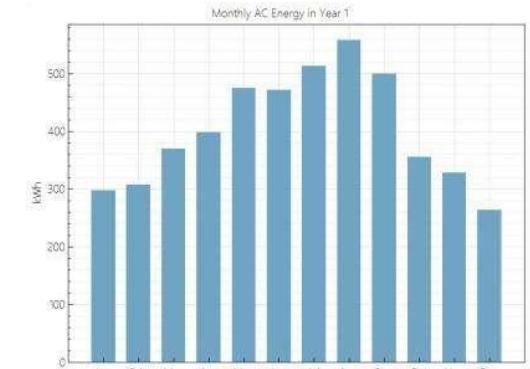
Gambar 5. Grafik Energi dengan kemiringan 0°



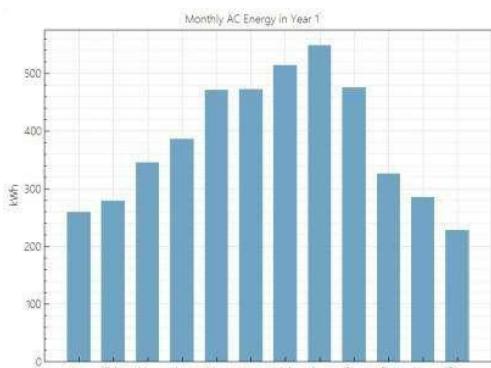
Gambar 6. Grafik Energi dengan Kemiringan 10°



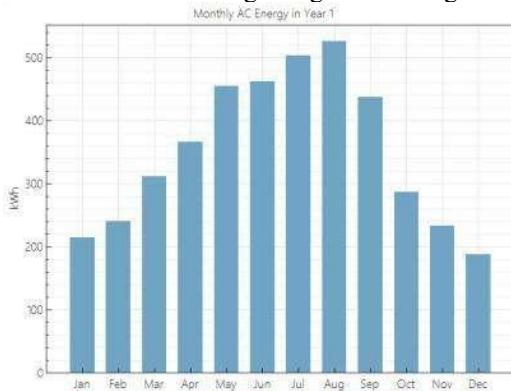
Gambar 7. Grafik Energi dengan Kemiringan 20°



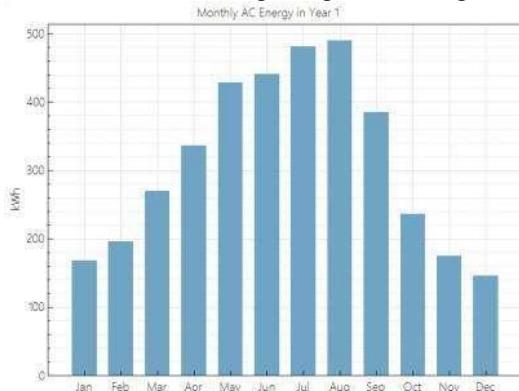
Gambar 8. Grafik Energi dengan Kemiringan 30°



Gambar 9. Grafik Energi dengan Kemiringan 40°



Gambar 10. Grafik Energi dengan Kemiringan 50°



Gambar 11. Grafik Energi dengan Kemiringan 60°

Tabel 1. Data Energi yang Dihasilkan Berdasarkan Sudut Kemiringan

Bulan	Daya Keluaran Sesuai Sudut Kemiringan (kWh)						
	0	10	20	30	40	50	60
Januari	369.923	353.533	329.13	297.573	259.191	214.55	167.956
Februari	352.528	344.897	330.037	307.888	278.05	240.37	195.58
Maret	394.852	395.148	386.944	370.339	345.304	311.657	269.381
April	386.029	397.986	401.899	398.116	386.39	366.042	336.129
Mei	424.448	451.898	468.626	474.876	470.563	455.344	428.762
Juni	411.578	442.218	462.303	472.262	472.169	461.872	441.089
Juli	442.604	477.417	500.692	512.845	513.835	503.384	480.951
Agustus	516.817	542.183	555.663	557.714	547.987	525.602	489.322
September	509.94	517.278	514.131	500.435	475.219	437.053	384.598
Okttober	395.489	389.906	376.845	355.81	325.858	286.28	235.924
Nopember	404.458	388.114	362.902	328.586	285.29	232.612	174.838
Desember	334.298	317.94	294.213	264.253	228.001	187.216	146.413
Total	4942.964	5018.518	4983.385	4840.697	4587.857	4221.982	3750.943

Pada Tabel 1, dapat kita lihat data energi bulanan yang dihasilkan berdasarkan sudut kemiringan. Analisis data bulanan mulai Januari hingga Maret menunjukkan bahwa pada bulan Januari, energi maksimum dihasilkan pada sudut 0° dengan 369.923 kWh, namun seiring peningkatan sudut kemiringan, energi yang dihasilkan cenderung menurun. Bulan Februari menunjukkan pola yang serupa, dimana sudut 0° masih menghasilkan energi paling tinggi. Maret merupakan bulan yang baik untuk efisiensi energi, di mana sudut 0° , 10° dan 20° memberikan hasil yang hampir sama dengan sedikit penurunan pada sudut yang lebih tinggi.

Pada bulan April hingga Juni dapat dilihat bahwa Di bulan April, terdapat peningkatan energi yang dihasilkan di seluruh sudut kemiringan, dengan puncak di sudut 20° yang menghasilkan 401.899 kWh. Mei dan Juni menunjukkan hasil yang sangat baik, dengan sudut kemiringan 20° hingga 40° memberikan energi maksimum. Hal itu menunjukkan bahwa kemiringan yang lebih tinggi dapat meningkatkan efisiensi pada bulan-bulan ini. Bulan Juli dan Agustus menunjukkan hasil terbaik, dengan energi maksimum dihasilkan pada sudut 30° , masing-masing 512.845 Wh dan 557.714 kWh. Hal ini menunjukkan bahwa selama musim panas, sudut kemiringan yang lebih tinggi memberikan hasil yang lebih baik. September menunjukkan penurunan energi yang dihasilkan, tetapi sudut 0° hingga 30° masih memberikan hasil yang cukup baik.

Pada bulan Oktober, terjadi penurunan signifikan dalam energi yang dihasilkan di semua sudut. Sudut yang lebih tinggi tidak lagi memberikan keuntungan yang signifikan. Nopember dan Desember menunjukkan hasil terendah, di mana sudut 0° tetap menjadi yang terbaik, tetapi dengan nilai yang jauh lebih rendah dibandingkan bulan-bulan sebelumnya.

Dilihat dari total daya yang dihasilkan dalam setahun, data awal menunjukkan bahwa efisiensi energi meningkat seiring dengan peningkatan sudut kemiringan hingga mencapai titik optimal pada sudut 10° , setelah itu efisiensi mulai menurun.

Efisiensi energi yang optimal pada sudut 10° ini sejalan dengan jurnal penelitian yang dilakukan oleh D.A.R.Ridho yang dilakukan di kota Samarinda, Provinsi Kalimantan Timur yang kebetulan juga posisinya berada di bagian Selatan garis khatulistiwa [18].

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis data yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa total daya yang dihasilkan dalam setahun itu paling optimal didapatkan pada kemiringan sudut 10° . Sudut kemiringan panel surya memiliki pengaruh signifikan terhadap efisiensi energi yang dihasilkan. Sudut kemiringan yang lebih tinggi (30° hingga 40°) memberikan hasil yang lebih baik selama bulan-bulan dengan intensitas sinar matahari yang tinggi, seperti Mei hingga Agustus, namun pada bulan-bulan dengan intensitas sinar matahari yang lebih rendah, sudut 0° cenderung memberikan hasil yang lebih baik.

REFERENSI

- [1] R. B. Mansour, M. A. Mateen Khan, F. A. Alsulaiman, and R. B. Mansour, "Optimizing the Solar PV Tilt Angle to Maximize the Power Output: A Case Study for Saudi Arabia," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 15914–15928, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3052933.
- [2] H. B. Nurjaman and T. Purnama, "Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sebagai Solusi Energi Terbarukan Rumah Tangga," *J. Edukasi Elektro*, vol. 6, no. 2, pp. 136–142, Nov. 2022, doi: 10.21831/jee.v6i2.51617.
- [3] "(PDF) Potential of Solar Energy in Indonesia," ResearchGate. Accessed: Nov. 04, 2025. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/324840611_Potential_of_Solar_Energy_in_Indonesia
- [4] S. Samsurizal, A. Makkulau, and C. Christiono, "Analisis Pengaruh Sudut Kemiringan Terhadap Arus Keluaran Pada Photovoltaic Dengan Menggunakan Regretion Quadratic Method," *Energi Kelistrikan*, vol. 10, no. 2, pp. 137–144, Jan. 2019, doi: 10.33322/energi.v10i2.286.
- [5] "Dirjen EBTKE: Kapasitas Terpasang Pembangkit EBT 2022 Lebih Target," ESDM. Accessed: Nov. 04, 2025. [Online]. Available: <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/dirjen-ebtke-kapasitas-terpasang-pembangkit-ebt-2022-lebih-target>
- [6] A. Kusuma, "Pengertian dan Cara Kerja Panel Surya," Sanspower. Accessed: Nov. 04, 2025. [Online]. Available: <https://www.sanspower.com/pengertian-dan-cara-kerja-panel-surya.html>
- [7] S. Widyawati Putri, G. Marausna, and E. Eko Prasetyo, "Analisis Pengaruh Intensitas Cahaya Matahari Terhadap Daya Keluaran Pada Panel Surya," *Tek. STTKD J. Tek. Elektron. Engine*, vol. 8, no. 1, pp. 29–37, Nov. 2022, doi: 10.56521/teknika.v8i1.442.
- [8] S. Sitompul, H. Ibrahim, A. B. Pratama, and F. F. Hasan, "Analisis Pengaruh Energi Matahari Terhadap Tegangan Keluar Solar Cell Pada Rancang Bangun Solar Tracking Berbasis Microcontroller," *SINERGI POLMED J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 5, no. 2, pp. 113–120, Sep. 2024, doi: 10.51510/sinergipolmed.v5i2.1678.
- [9] F. Fauzy, "Rancang Bangun Alat Telemetri Parameter Pembangkit Listrik Tenaga Surya Berbasis IoT," *J. Eksitasi FORTEI*, vol. 1, no. 1, pp. 14–21, 2022.
- [10] R. A. Putri, S. T. Yanwar, S. M. Everlin, and S. A. Herupratama, "Studi Efisiensi Panel Surya Dalam Menghasilkan Listrik Di Berbagai Kondisi Cuaca," *Al-Irsyad J. Phys. Educ.*, vol. 3, no. 1, pp. 20–27, Jan. 2024, doi: 10.58917/ijpe.v3i1.99.
- [11] M. Mustofa, "Pengaruh air mass matahari terhadap kinerja sel surya (photovoltaic) tipe polycrystalline," *Sultra J. Mech. Eng. SJME*, vol. 1, no. 1, pp. 57–64, Oct. 2022, doi: 10.54297/sjme.v1i1.331.
- [12] G. Gunaldi, "Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap untuk Mendorong Net Zero Emission di Kawasan Pemukiman," *J. Lingkung.*, vol. 1, no. 1, pp. 32–39, Feb. 2025.
- [13] M. Ahsan, "Tantangan dan Peluang Pembangunan Proyek Pembangkit Listrik

- Energi Baru Terbarukan (EBT) di Indonesia,” *SUTET*, vol. 11, no. 2, pp. 81–93, Dec. 2021, doi: 10.33322/sutet.v11i2.1575.
- [14] R. S. Ramdani and M. Artiyasa, “Pengaruh Kemiringan Sudut dan Arah Mata Angin pada On Grid PV System Di Kutajaya Kabupaten Sukabumi,” *J. Rekayasa Teknol. Nusa Putra*, vol. 10, no. 1, pp. 53–64, Mar. 2024, doi: 10.52005/rekayasa.v10i1.443.
- [15] F. P. Saputro, M. F. Umam, and N. Rizaldy, “Studi Kelayakan Pemasangan PLTS Atap di Gedung TUK Scaffolding PPSDM Migas,” *J. Nas. Pengelolaan Energi MIGAS Zoom*, vol. 6, no. 2, pp. 93–102, Nov. 2024, doi: 10.37525/mz/2024-2/611.
- [16] P. S. Paliyal, S. Mondal, S. Layek, P. Kuchhal, and J. K. Pandey, “Automatic solar tracking system: a review pertaining to advancements and challenges in the current scenario,” *Clean Energy*, vol. 8, no. 6, pp. 237–262, Dec. 2024, doi: 10.1093/ce/zkae085.
- [17] K. Kumba, P. Upender, P. Buduma, M. Sarkar, S. P. Simon, and V. Gundu, “Solar tracking systems: Advancements, challenges, and future directions: A review,” *Energy Rep.*, vol. 12, pp. 3566–3583, Dec. 2024, doi: 10.1016/j.egyr.2024.09.038.
- [18] D. A. R. Ridho, “Analisis Pengaruh Sudut Kemiringan Panel Surya Terhadap Penerimaan Iradiasi Matahari Dan Daya Keluaran Yang Dihasilkan,” *Poligrid*, vol. 04, no. 01, pp. 25–31, Nov. 2023, doi: <https://doi.org/10.46964/poligrid.v4i1.18>.