



## Analisis Monitoring Dampak Pengukuran Variabilitas Suhu Lingkungan Solar Panel Off-Grid Pada Model Panel Monocrystalline

Regi Wando Pratama Siregar<sup>1</sup>, Habib Satria<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Medan Area, Medan, Indonesia

[reghisiregar@gmail.com](mailto:reghisiregar@gmail.com)

### Abstract

The suboptimal utilization of solar energy in Medan City is a case that requires a solution to resolve it. This is due to a lack of understanding of the working concept and factors that affect the efficiency of power generated by solar panels. The study conducted in Medan City, North Sumatra, aims to determine the performance of off-grid monocrystalline solar panel energy conversion against weather fluctuations. This study uses measuring instruments such as multimeters and luxmeters to measure voltage, current, power, and sunlight intensity (lux), and analyzes the data using descriptive statistical methods to identify solar panel performance patterns throughout the day. The results of the analysis show that the power generated is influenced by the main variables such as voltage, current, power, and light intensity. The solar panel voltage is stable throughout the day, ranging from 11 V to 19.80 V, with a peak at 13:00 noon. The solar panel current varies, from 0.25 A in the morning to 5.90 A at noon. The peak power was recorded at 13:00 noon, reaching 116.82 Watts, along with the high voltage and current. The intensity of sunlight (lux) also affects power, with a peak of 50,000 lux occurring at 13:00. Overall, the best solar panel performance was recorded between 12:00 noon and 14:00 noon, while power output decreased in the morning and afternoon. This study provides an important contribution to the development of renewable energy systems in tropical areas, especially in the face of high weather fluctuations, and can be a reference in designing more efficient solar energy systems that are in accordance with local weather conditions.

*Keywords: Measurement, Solar Panel, Environmental Temperature Fluctuations, Monocrystalline Panel, Off-Grid System.*

### Abstrak

Pemanfaatan energi cahaya matahari yang belum optimal di Kota Medan merupakan suatu kasus yang membutuhkan solusi untuk menyelesaikannya. Hal ini disebabkan oleh kurangnya pemahaman mengenai konsep kerja dan faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi daya yang dihasilkan oleh panel surya. Penelitian yang dilakukan di Wilayah Kota Medan, Sumatera Utara, bertujuan untuk mengetahui performansi konversi energi panel surya off-grid tipe monocrystalline terhadap fluktuasi cuaca. Penelitian ini menggunakan alat ukur seperti multimeter dan luxmeter untuk mengukur tegangan, arus, daya, dan intensitas cahaya matahari (lux), serta menganalisis data menggunakan metode statistik deskriptif untuk mengidentifikasi pola performa panel surya sepanjang hari. Hasil analisis menunjukkan bahwa daya yang dihasilkan dipengaruhi oleh variabel utama seperti tegangan, arus, daya, dan intensitas cahaya. Tegangan panel surya stabil sepanjang hari, berkisar antara 11 V hingga 19,80 V, dengan puncaknya pada pukul 13:00 siang. Arus panel surya bervariasi, mulai dari 0,25 A pada pagi hari hingga 5,90 A pada siang hari. Puncak daya tercatat pada pukul 13:00 siang, mencapai 116,82 Watt, seiring dengan tingginya tegangan dan arus. Intensitas cahaya matahari (lux) juga mempengaruhi daya, dengan puncak lux 50.000 terjadi pada pukul 13:00. Secara keseluruhan, performa panel surya terbaik tercatat antara pukul 12:00 siang hingga 14:00 siang, sementara output daya menurun pada pagi dan sore hari. Penelitian ini memberikan kontribusi penting terhadap pengembangan sistem energi terbarukan di daerah tropis, terutama dalam menghadapi fluktuasi cuaca yang tinggi, serta dapat menjadi acuan dalam merancang sistem energi surya yang lebih efisien dan sesuai dengan kondisi cuaca lokal.

*Kata kunci: Pengukuran, Solar Panel, Fluktuasi Suhu Lingkungan, Panel Monocrystalline, Sistem Off-Grid.*

### 1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara beriklim tropis dengan matahari menjadi energi listrik melalui foton yang bekerja di sekitar daerah *PN-junction*, tanpa memiliki potensi besar dalam pemanfaatan energi surya menggunakan bagian mekanis [8]–[11]. Variabel-variabel fisis yang memengaruhi kinerja sel surya antara lain adalah suhu lingkungan sekitar dan alternatif untuk menggantikan energi konvensional intensitas cahaya matahari [12], [13]. Kota Medan seperti bahan bakar fosil [4]–[7]. Pada dasarnya, prinsip merupakan wilayah yang memiliki suhu panas relatif



Lisensi

Lisensi Internasional Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0.

tinggi dan cukup potensial untuk pemasangan panel surya [14], [15]. Namun, kondisi cuaca yang tidak menentu di wilayah Medan, dengan adanya hujan yang sering terjadi, menjadi tantangan tersendiri dalam penerapan teknologi energi surya. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengukur dan mengevaluasi kinerja panel surya jenis monocrystalline di wilayah Medan, guna memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai potensi pemanfaatan energi surya di wilayah tersebut. Panel surya tipe monocrystalline dipilih karena diketahui memiliki daya tahan paling lama dan efisiensi konversi energi yang lebih tinggi dibandingkan dengan jenis sel surya silikon lainnya, seperti poli-silicon dan amorphous silicon [16], [17]. Panel monocrystalline dikenal memiliki tingkat efisiensi yang lebih tinggi, yaitu sekitar 15-20%, dibandingkan dengan panel poli-silicon yang hanya sekitar 13-16%, serta amorphous silicon yang lebih rendah lagi, sekitar 6-8% [18]–[20]. Output tegangan dan arus dari panel surya (PV) memang sangat dipengaruhi oleh fluktuasi cuaca, yang meliputi variabel seperti suhu, awan, kecepatan dan arah angin, serta efek bayangan (shadowing effect) pada permukaan panel [21]–[23]. Oleh karena itu, pengukuran kinerja panel surya tipe monocrystalline yang dilakukan dalam penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi keandalan sistem dalam menghadapi perubahan suhu yang tiba-tiba dan ekstrem, serta dampaknya terhadap produksi energi listrik [24]–[27]. Hasil penelitian ini tidak hanya penting bagi masyarakat Kota Medan, yang dapat memanfaatkannya sebagai pertimbangan dalam pembangunan sistem energi surya sebagai sumber energi alternatif atau cadangan, terutama ketika terjadi pemadaman listrik bergilir, tetapi juga memberikan kontribusi pada pengembangan teknologi energi terbarukan di daerah tropis yang sering mengalami fluktuasi cuaca. Secara global, penelitian ini relevan untuk mendorong peningkatan efisiensi dan kestabilan sistem energi surya, serta mengidentifikasi potensi penerapan teknologi surya dalam menghadapi tantangan perubahan iklim yang mempengaruhi kondisi cuaca.

## 2. Metode Penelitian

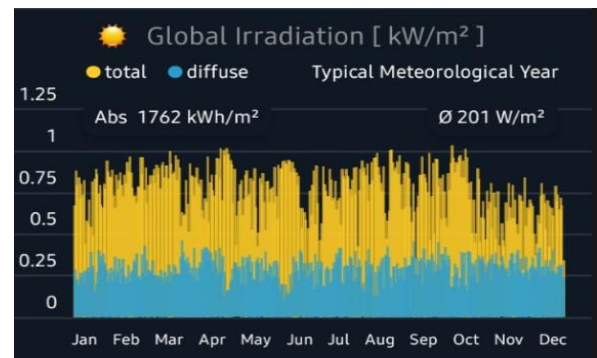
Pelaksanaan penelitian ini dilakukan dengan perencanaan dan jadwal yang matang, yaitu mulai dari studi literatur mengenai panel surya beserta konsep konversi energinya. Kemudian dilanjutkan dengan pengambilan dan pengumpulan data panel surya yang dilakukan di Kota Medan, Sumatera Utara. Setelah persiapan, dilanjutkan dengan proses pengambilan data. Data panel surya diambil mulai pukul 07.00 WIB pagi hingga pukul 18.00 WIB sore. Solar panel yang digunakan dalam penelitian ini berjenis monocrystalline dengan kapasitas 120 Wp. Selanjutnya, analisis kelayakan instalasi dilakukan dengan memperhitungkan akurasi titik azimuth dan monitoring

dari global irradiasi. Untuk melihat posisi instalasi panel surya di wilayah Sumatera Utara, dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Posisi Instalasi Solar Panel di Wilayah Sumatera Utara

Gambar 1 menunjukkan lokasi instalasi panel surya yang terletak di wilayah Sumatera Utara, tepatnya di Kota Medan. Lokasi ini dipilih karena memiliki potensi radiasi matahari yang cukup tinggi, meskipun kondisi cuaca cenderung fluktuatif. Visualisasi ini penting sebagai dasar dalam memahami karakteristik lingkungan tempat sistem panel surya diuji, terutama dalam mengamati pengaruh perubahan suhu dan intensitas cahaya terhadap performa sistem. Untuk melihat akurasi performa solar panel, dilakukan monitoring irradiasi global. Sistem bekerja berdasarkan Gambar 2, yaitu irradiasi global (dalam satuan kW/m<sup>2</sup>) yang menggambarkan tingkat intensitas cahaya matahari yang diterima oleh permukaan panel surya.



Gambar 2. Irradiasi Global (kW/m<sup>2</sup>)

Pada Gambar 2, grafik monitoring menunjukkan bahwa puncak iradiasi terjadi sekitar pukul 13:00, bertepatan dengan waktu di mana daya listrik yang dihasilkan panel mencapai titik maksimum. Hal ini menunjukkan adanya hubungan yang erat antara intensitas cahaya matahari dengan efisiensi konversi energi panel surya yang akan diinstalasi.

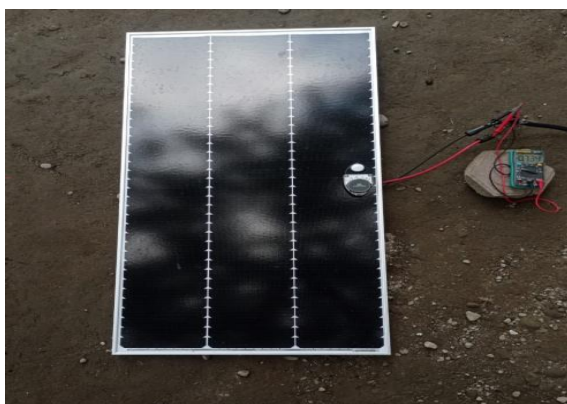
Pengukuran dilakukan sepanjang hari, dimulai dari pukul 07:00 WIB hingga pukul 18:00 WIB. Setiap jam,

data mengenai tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan oleh panel surya dicatat secara konsisten. Pengumpulan data dilakukan menggunakan alat ukur digital, seperti multimeter untuk mengukur tegangan dan arus, serta alat pemantau daya untuk mencatat output energi panel surya. Selain itu, pengukuran intensitas cahaya matahari dilakukan dengan menggunakan luxmeter untuk memperoleh data akurasi iradiasi global yang diterima oleh permukaan panel.

Untuk memastikan keakuratan hasil, kontrol tambahan dilakukan dengan memantau suhu eksternal yang memengaruhi performa panel surya. Pengukuran suhu lingkungan dilakukan menggunakan thermometer digital yang diposisikan di dekat panel surya. Selain itu, untuk meminimalkan pengaruh faktor eksternal yang tidak terkontrol (seperti perubahan cuaca tiba-tiba atau bayangan yang tidak terduga), pengambilan data dilakukan di lokasi yang tidak terhalang oleh objek seperti pohon atau bangunan yang bisa menyebabkan bayangan pada panel. Pengukuran dilakukan secara berkala untuk memastikan bahwa semua data yang terkumpul sesuai dengan kondisi yang diinginkan.

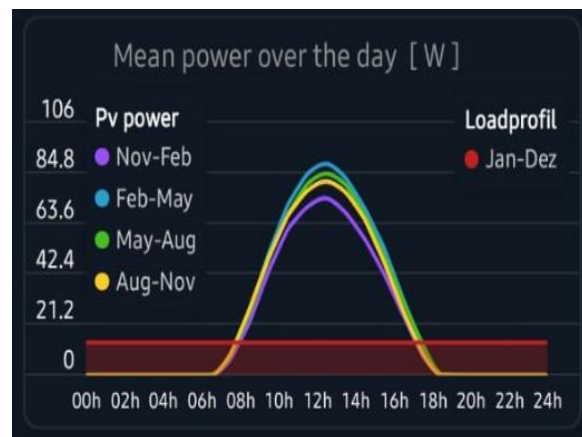
### 3. Hasil dan Pembahasan

Pengukuran dan pengambilan data pada panel surya dilakukan menggunakan 2 instrumen alat ukur, yaitu Illuminometer Model 5200 dan Multimeter. Illuminometer Model 5200 merupakan instrument alat ukur yang digunakan untuk mengetahui tingkat Incident Radiation Flux, sedangkan Multimeter merupakan instrument alat ukur yang digunakan untuk mengukur nilai tegangan dan arus yang dihasilkan panel surya pada saat proses pengumpulan data penelitian dilakukan. Pengukuran dan pengambilan data untuk penelitian ini dilakukan secara langsung dan real time sehingga akurasi data yang digunakan dapat dimanfaatkan dengan baik dan benar. Untuk melihat pengukuran solar panel dengan instrument illuminometer model 5200 dan multimeter ditunjukkan pada Gambar 3.



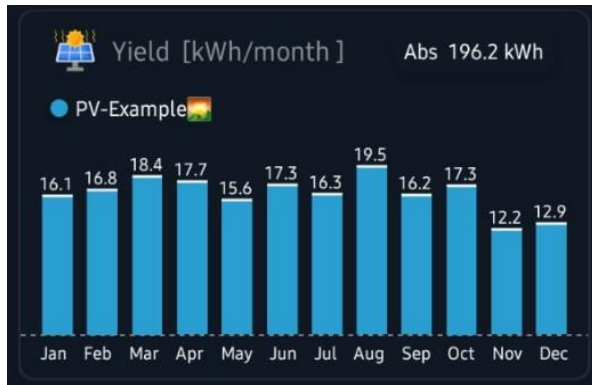
Gambar 3. Pengukuran Solar Panel dengan Instrument Illuminometer Model 5200 dan Multimeter

Gambar 3. yang menunjukkan panel surya beserta alat ukur Illuminometer Model 5200 dan multimeter memberikan gambaran mengenai proses pengambilan data secara langsung di lapangan. Illuminometer digunakan untuk mengukur intensitas cahaya matahari (lux), sedangkan multimeter digunakan untuk mencatat nilai tegangan dan arus listrik yang dihasilkan panel surya. Gambar ini memperkuat bahwa metode penelitian dilakukan secara eksperimental dan real-time sehingga data yang diperoleh memiliki tingkat akurasi tinggi dan dapat diandalkan. Kemudian dalam analisis performa panel surya, data yang akan disinkronisasikan mencakup berbagai parameter yang menggambarkan efisiensi dan potensi energi yang dihasilkan oleh sistem pembangkit listrik tenaga surya sepanjang waktu. Gambar 4 menunjukkan daya rata-rata yang dihasilkan oleh panel surya sepanjang hari dalam satuan watt (W), yang memberikan gambaran mengenai fluktuasi daya diproduksi pada berbagai waktu dalam sehari, tergantung pada intensitas cahaya dan kondisi cuaca.



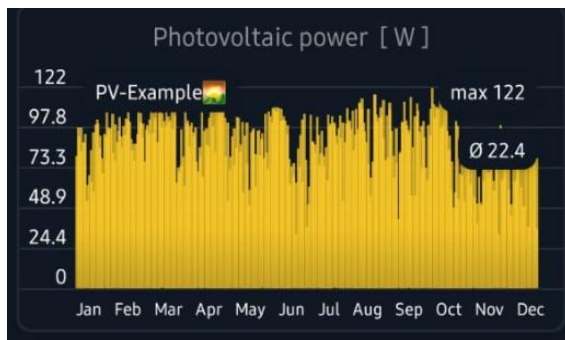
Gambar 4. Analisis Monitoring Daya Rata-rata Sepanjang Hari (W)

Pada Gambar 4 merupakan daya rata-rata sepanjang hari memperlihatkan fluktuasi daya yang dihasilkan oleh panel surya dari pagi hingga sore hari. Grafik menunjukkan peningkatan daya secara bertahap mulai dari pagi hari, mencapai puncaknya pada pukul 13:00 dengan nilai 116,82 W, kemudian mengalami penurunan hingga sore hari. Pola ini mengindikasikan bahwa panel surya bekerja paling optimal pada siang hari ketika intensitas cahaya matahari berada pada titik maksimum. Selanjutnya, Gambar 5 menggambarkan hasil produksi energi panel surya dalam satuan kilowatt-jam per bulan (kWh/bulan), yang menunjukkan total energi yang dapat dimanfaatkan setiap bulannya.



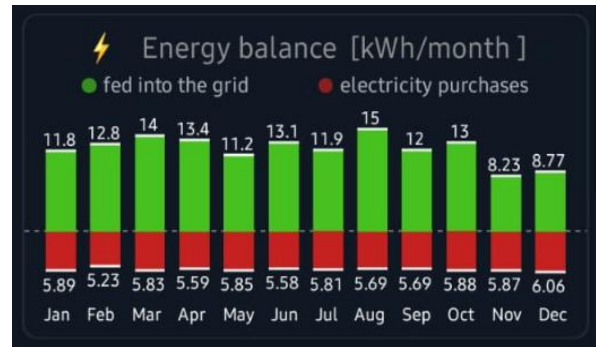
Gambar 5. Analisis Monitoring Hasil Solar Panel (kWh/bulan)

Gambar 5 merupakan hasil energi bulanan dalam satuan kWh menyajikan estimasi total energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya dalam satu bulan. Hasil ini menunjukkan bahwa energi yang diperoleh cukup signifikan untuk kebutuhan rumah tangga berskala kecil jika sistem dioperasikan secara efisien dan optimal. Secara keseluruhan, ABS 192.2 kWh yang berarti nilai absolut dari total energi yang dikonsumsi atau dihasilkan, yang jumlahnya mencapai 192,2 kWh. Kemudian analisis pada Gambar 6 memperlihatkan potensi daya panel surya dalam satuan watt (W) selama satu tahun, memberikan pemahaman tentang seberapa besar kapasitas energi yang dapat diproduksi oleh panel dalam periode tahunan, dengan mempertimbangkan perubahan musim dan faktor cuaca.



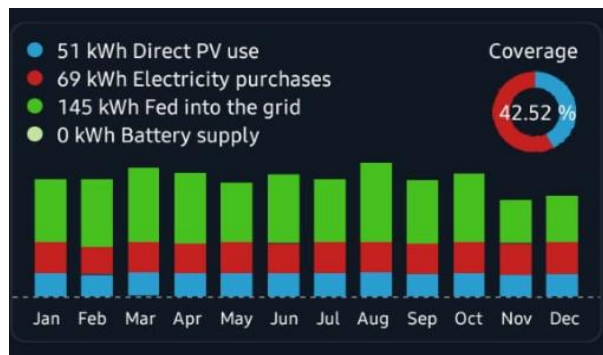
Gambar 6. Analisis Monitoring Potensi Daya Panel Surya (W) untuk 1 Tahun

Berdasarkan monitoring pada Gambar 6, potensi daya panel surya dalam kurun waktu satu tahun memberikan proyeksi daya total yang dapat dihasilkan oleh sistem. Proyeksi ini menjadi acuan dalam menilai kelayakan penggunaan panel surya monocrystalline sebagai sumber energi alternatif jangka panjang, terutama di daerah dengan tingkat penyinaran matahari yang relatif tinggi. Selanjutnya monitoring menampilkan neraca energi (kWh/bulan), yang menunjukkan keseimbangan antara energi yang dihasilkan dan energi yang dikonsumsi, memberikan informasi tentang efisiensi sistem dalam memenuhi kebutuhan energi yang dibutuhkan di tunjukkan pada Gambar 7.



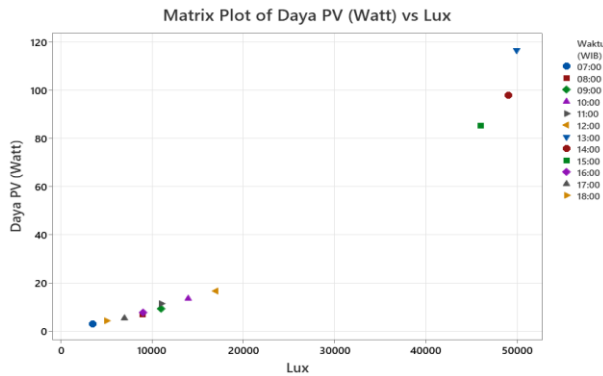
Gambar 7. Analisis Monitoring Neraca energi (kWh/Bulan)

Pada monitoring Gambar 7 di peroleh nilai neraca energi bulanan menggambarkan keseimbangan antara energi yang dihasilkan oleh panel surya dengan energi yang dikonsumsi. Grafik ini berguna dalam mengevaluasi efektivitas sistem dalam memenuhi kebutuhan energi secara mandiri, serta memberikan gambaran mengenai potensi surplus atau defisit energi pada bulan-bulan tertentu. Kemudian rata-rata potensi daya panel surya dalam setahun, memberikan indikasi mengenai konsistensi dan kemampuan panel dalam menghasilkan energi dalam jangka panjang di tunjukkan pada Gambar 8.



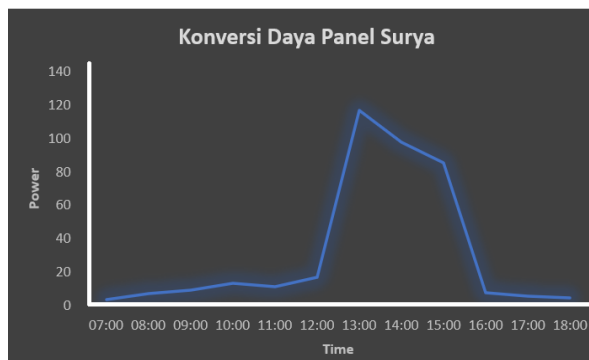
Gambar 8. Analisis Monitoring Rata-rata potensi pertahun

Pada analisis Gambar 8, menunjukkan grafik bahwa sistem solar panel menghasilkan 51 kWh yang digunakan langsung, 69 kWh dibeli dari jaringan, dan 145 kWh diekspor ke jaringan tanpa dukungan baterai (0 kWh), menandakan tidak adanya penyimpanan energi. Produksi solar panel stabil sepanjang tahun, namun sebagian besar energi diekspor karena rendahnya pemanfaatan langsung. Cakupan energi hanya 42,52%, sehingga ketergantungan pada listrik jaringan masih tinggi. Penambahan sistem baterai sangat disarankan untuk menyimpan surplus energi, mengurangi pembelian dari jaringan, dan meningkatkan efisiensi serta cakupan pemanfaatan energi dari solar panel secara keseluruhan. Kemudian pada Gambar 9 yaitu, plot hubungan antara daya (watt) terhadap intensitas cahaya (lux) memperlihatkan korelasi positif antara kedua variabel tersebut. Semakin tinggi nilai lux, semakin besar pula daya yang dihasilkan panel surya.



Gambar 9. Plot matriks daya PV (Watt) vs Lux

Pada Gambar 9, membuktikan bahwa intensitas cahaya merupakan faktor utama dalam menentukan output daya listrik dari panel surya. Kemudian selanjutnya output konsumsi daya panel surya menunjukkan jumlah daya yang dikonsumsi dari sistem PV sepanjang waktu pengamatan. Informasi penting mengenai pola konsumsi energi serta efektivitas penggunaan energi yang dihasilkan di tunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Output Komnsusi daya Panel Surya

Berdasarkan data Gambar 10, output konsumsi daya panel surya menunjukkan variasi yang signifikan sepanjang hari. Puncak output daya terjadi pada pukul 13:00, dengan daya mencapai 116.82 W, yang merupakan hasil dari tegangan tertinggi pada 19.80 V dan arus yang sangat besar yaitu 5.90 A. Pada waktu ini, intensitas cahaya matahari yang sangat tinggi memungkinkan panel surya untuk beroperasi pada kapasitas maksimal, menghasilkan daya yang signifikan. Sebaliknya, output daya terendah tercatat pada pukul 18:00, hanya sebesar 4.40 Watt. Meskipun tegangan tetap pada 11.00 V, arus yang sangat rendah (0.40 A) dan berkurangnya intensitas cahaya matahari di sore hari menyebabkan panel surya tidak dapat menghasilkan daya secara efisien. Secara keseluruhan, panel surya bekerja paling efisien pada siang hari, terutama pada periode antara pukul 12:00 hingga 14:00, sementara pada sore hari, output daya menurun drastis

akibat penurunan arus dan intensitas cahaya matahari yang terbatas.

Penelitian ini menunjukkan bahwa suhu dan fluktuasi cuaca memainkan peran penting dalam mempengaruhi daya yang dihasilkan oleh panel surya. Berdasarkan hasil pengukuran, panel surya menunjukkan performa yang optimal antara pukul 12:00 hingga 14:00 WIB, saat intensitas cahaya matahari (iradiasi) mencapai puncaknya, yakni sekitar 50.000 lux. Pada saat ini, daya yang dihasilkan oleh panel surya monocrystalline tercatat mencapai nilai maksimum, yaitu 116,82 Watt. Hubungan langsung antara intensitas cahaya dan daya yang dihasilkan ini sejalan dengan prinsip dasar sel surya, di mana semakin tinggi intensitas cahaya yang diterima oleh panel, semakin banyak foton yang dapat menghasilkan elektron, sehingga menghasilkan daya listrik yang lebih tinggi.

Namun, fluktuasi suhu dan cuaca memberikan dampak yang signifikan terhadap efisiensi konversi energi panel surya. Penurunan suhu pada malam hari menyebabkan penurunan daya yang dihasilkan, yang mencerminkan penurunan intensitas cahaya matahari yang diterima oleh panel. Meskipun suhu yang lebih rendah cenderung meningkatkan efisiensi konversi energi sel surya (karena panel surya cenderung bekerja lebih efisien pada suhu yang lebih rendah), pengurangan intensitas cahaya pada malam hari menyebabkan tidak adanya produksi daya. Sehingga, meskipun suhu turun, tidak ada energi yang dihasilkan akibat tidak adanya cahaya matahari.

Selain itu, pengaruh awan juga berkontribusi pada fluktuasi daya yang dihasilkan. Ketika awan menutupi matahari, intensitas cahaya yang mencapai panel surya berkurang secara signifikan, mengurangi daya yang dapat dihasilkan. Pada pengukuran yang dilakukan selama cuaca mendung, hasil pengukuran menunjukkan penurunan daya hingga 30-50% dibandingkan dengan hari cerah. Penurunan ini menunjukkan pentingnya mempertimbangkan kondisi cuaca dalam perencanaan instalasi sistem energi surya, terutama di wilayah dengan fluktuasi cuaca yang tinggi, seperti Kota Medan.

Perbandingan dengan hasil yang diharapkan atau studi sebelumnya penelitian ini menunjukkan konsistensi dalam hal performa panel surya pada cuaca cerah dan intensitas cahaya maksimum. Penelitian yang dilakukan di daerah dengan iklim serupa panel surya monocrystalline di daerah tropis juga menunjukkan puncak daya sekitar pukul 13:00 dengan efisiensi konversi yang optimal di kisaran waktu yang sama. Namun, perbedaan signifikan muncul ketika fluktuasi cuaca lebih ekstrem, seperti dalam kasus awan atau penurunan suhu mendalam yang mempengaruhi kinerja panel secara lebih drastis.

Hasil yang diperoleh dari pengukuran langsung menunjukkan bahwa efisiensi panel surya monocrystalline di Medan sangat bergantung pada waktu dan kondisi cuaca. Pada cuaca mendung, daya yang dihasilkan bahkan bisa turun hampir 50% dari nilai maksimal yang tercatat pada cuaca cerah. Hal ini memberikan wawasan penting dalam mempertimbangkan estimasi daya yang dihasilkan oleh sistem panel surya di daerah tropis yang memiliki fluktuasi cuaca yang cukup tinggi.

Dalam hal perbandingan, pengukuran suhu eksternal menunjukkan adanya pengaruh minimal terhadap kinerja panel dalam kondisi normal. Namun, suhu ekstrem yang lebih tinggi seperti yang terjadi pada siang hari dapat sedikit mengurangi efisiensi konversi energi panel surya, meskipun pengaruhnya tidak sebesar pengaruh perubahan intensitas cahaya. Secara keseluruhan, hasil pengukuran ini memberikan gambaran yang lebih realistis mengenai kondisi operasional panel surya monocrystalline di Medan, yang seringkali tidak dijelaskan secara rinci dalam studi sebelumnya yang lebih mengandalkan kondisi cuaca ideal.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan data yang diberikan, performa panel surya (PV) dapat dianalisis dari beberapa variabel utama, yaitu tegangan, arus, daya, dan intensitas cahaya (lux) yang diterima panel surya. Tegangan panel surya relatif stabil sepanjang hari, berkisar antara 11.00 V hingga 19.80 V, dengan puncaknya terjadi pada pukul 13:00, yaitu 19.80 V. Arus yang dihasilkan panel surya bervariasi, mulai dari 0.25 A pada pukul 07:00 hingga 5.90 A pada pukul 13:00, yang menunjukkan kinerja maksimal panel surya pada siang hari. Sebagai akibat dari kombinasi tegangan dan arus yang lebih tinggi, daya yang dihasilkan juga lebih besar, mencapai puncaknya pada pukul 13:00 dengan nilai 116.82 Watt. Pada pagi dan sore hari, daya yang dihasilkan oleh panel surya cenderung lebih rendah. Pada pukul 16:00, daya turun menjadi 7.70 Watt, seiring dengan turunnya tegangan (11.00 V) dan arus (0.70 A). Hal ini terkait dengan penurunan intensitas cahaya matahari yang diterima panel, yang tercermin dalam pengurangan nilai lux. Puncak lux terjadi pada pukul 13:00, dengan nilai 50.000 lux, sementara setelah pukul 14:00, nilai lux mulai menurun, berkontribusi pada penurunan daya yang dihasilkan panel surya. Secara keseluruhan, panel surya menunjukkan kinerja terbaik antara pukul 12:00 hingga 14:00, ketika tegangan, arus, dan lux mencapai titik tertinggi, menghasilkan daya yang maksimal. Sebaliknya, pada pagi dan sore hari, intensitas cahaya matahari yang lebih rendah mengakibatkan daya yang dihasilkan lebih rendah. Oleh karena itu, untuk memaksimalkan pemanfaatan panel surya, disarankan untuk fokus pada periode waktu tengah hari, terutama

antara pukul 12:00 hingga 14:00, di mana panel surya beroperasi pada kapasitas tertingginya.

#### Daftar Rujukan

- [1] H. Satria and S. Syafii, "Sistem Monitoring Online dan Analisa Performansi PLTS Rooftop Terhubung ke Grid PLN," *J. Rekayasa Elektr.*, vol. 14, no. 2, 2018, doi: 10.17529/jre.v14i2.11141.
- [2] E. Saputra, D. Purwanto, S. R. Rahim, and A. I. Bakhtiar, "PENINGKATAN PERFORMA PANEL SURYA DENGAN SISTEM PENDINGIN UNTUK MEREDUKSI PANAS PERMUKAAN," *Media Mesin Maj. Tek. Mesin*, vol. 23, no. 1, 2022, doi: 10.23917/mesin.v23i1.16390.
- [3] M. Nurdiansyah, E. C. Sinurat, M. Bakri, I. Ahmad, and A. B. Prasetyo, "Sistem Kendali Rotasi Matahari Pada Panel Surya Berbasis Arduino UNO," *J. Tek. dan Sist. Komput.*, vol. 1, no. 2, 2020, doi: 10.33365/jtkom.v1i2.14.
- [4] H. Satria, R. Syah, N. A. Silviana, and Syafii, "Sensitivity of solar panel energy conversion at sunrise and sunset on three weather fluctuations in equatorial climate," *Int. J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 13, no. 3, 2023, doi: 10.11591/ijece.v13i3.pp2449-2458.
- [5] M. Usman, "ANALISIS INTENSITAS CAHAYA TERHADAP ENERGI LISTRIK YANG DIHASILKAN PANEL SURYA," *Power Elektron. J. Orang Elektro*, vol. 9, no. 2, 2020, doi: 10.30591/polekro.v9i2.2047.
- [6] S. Utami and A. Daud, "PENGARUH TEMPERATUR PANEL SURYA TERHADAP EFISIENSI PANEL SURYA," *J. Tek. Energi*, vol. 11, no. 1, 2021, doi: 10.35313/energi.v11i1.2437.
- [7] P. Harahap, "Pengaruh Temperatur Permukaan Panel Surya Terhadap Daya Yang Dihasilkan Dari Berbagai Jenis Sel Surya," *RELE (Rekayasa Elektr. dan Energi) J. Tek. Elektro*, vol. 2, no. 2, 2020, doi: 10.30596/rele.v2i2.4420.
- [8] H. Satria, M. Mual Gunawan Lubis, and S. Muthia Putri, "Design of Household Electricity Protection and Monitoring Automation With IoT ESP32," *Andalasian Int. J. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 2, no. 03, 2022, doi: 10.25077/aijaset.v2i03.53.
- [9] B. H. Purwoto, J. Jatmiko, M. A. Fadilah, and I. F. Huda, "Efisiensi Penggunaan Panel Surya sebagai Sumber Energi Alternatif," *Emit. J. Tek. Elektro*, vol. 18, no. 1, 2018, doi: 10.23917/emitor.v18i01.6251.
- [10] E. Ndzibah, G. Andrea Pinilla-De La Cruz, and A. Shamsuzzoha, "End of life analysis of solar photovoltaic panel: roadmap for developing economies," *Int. J. Energy Sect. Manag.*, vol. 16, no. 1, 2022, doi: 10.1108/IJESM-11-2020-0005.
- [11] M. Li, S. D. Widijatmoko, Z. Wang, and P. Hall, "A methodology to liberate critical metals in waste solar panel," *Appl. Energy*, vol. 337, 2023, doi: 10.1016/j.apenergy.2023.120900.
- [12] K. Terashima, H. Sato, and T. Ikaga, "PV/T solar panel for supplying residential demands of heating/cooling and hot water with a lower environmental thermal load," *Energy Build.*, vol. 297, 2023, doi: 10.1016/j.enbuild.2023.113408.
- [13] A. Wagh, "Solar Panel Cleaning System," *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 12, no. 2, 2024, doi: 10.22214/ijraset.2024.58356.
- [14] M. Vimala, G. Ramadas, M. Perarasi, A. M. Manokar, and R. Sathyamurthy, "A Review of Different Types of Solar Cell Materials Employed in Bifacial Solar Photovoltaic Panel," *Energies*, vol. 16, no. 8, 2023, doi: 10.3390/en16083605.
- [15] N. Shrestha and A. Zaman, "Decommissioning and Recycling of End-of-Life Photovoltaic Solar Panels in Western Australia," *Sustain.*, vol. 16, no. 2, 2024, doi: 10.3390/su16020526.
- [16] F. H. M. Noh *et al.*, "Development of solar panel cleaning robot using arduino," *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 19, no. 3, 2020, doi: 10.11591/ijeecs.v19.i3.pp1245-

- 1250.
- [17] I. Laabab, S. Ziani, and A. Benami, "Solar panels overheating protection: a review," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 29, no. 1. 2023. doi: 10.11591/ijeecs.v29.i1.pp49-55.
- [18] B. Budiyanto and H. Setiawan, "Analisa Perbandingan Kinerja Panel Surya Vertikal Dengan Panel Surya Fleksibel Pada Jenis Monocrystalline," *Resist. (Elektronika Kendali Telekomun. Tenaga List. Komputer)*, vol. 4, no. 1, 2021, doi: 10.24853/resistor.4.1.77-86.
- [19] D. Hidayanti and G. Dewangga, "Rancang Bangun Pembangkit Hybrid Tenaga Angin dan Surya dengan Penggerak Otomatis pada Panel Surya," *Eksergi*, vol. 15, no. 3, 2020, doi: 10.32497/eksergi.v15i3.1784.
- [20] M. Y. Puriza, W. Yandi, and A. Asmar, "Perbandingan Efisiensi Konversi Energi Panel Surya Tipe Polycrystalline dengan Panel Surya Monocrystalline Berbasis Arduino di Kota Pangkalpinang," *J. Ecotipe (Electronic, Control. Telecommun. Information, Power Eng.)*, vol. 8, no. 1, 2021, doi: 10.33019/jurnalecotipe.v8i1.2034.
- [21] R. Dallaev, T. Pisarenko, N. Papež, and V. Holcman, "Overview of the Current State of Flexible Solar Panels and Photovoltaic Materials," *Materials*, vol. 16, no. 17. 2023. doi: 10.3390/ma16175839.
- [22] J. A. Dhanraj *et al.*, "An effective evaluation on fault detection in solar panels," *Energies*, vol. 14, no. 22. 2021. doi: 10.3390/en14227770.
- [23] Solar.com, "Solar Panel Efficiency," *Solar.Com*, vol. 4, no. 12, 2020.
- [24] A. El Hammoumi, S. Chtita, S. Motahhir, and A. El Ghzizal, "Solar PV energy: From material to use, and the most commonly used techniques to maximize the power output of PV systems: A focus on solar trackers and floating solar panels," *Energy Reports*, vol. 8. 2022. doi: 10.1016/j.egyr.2022.09.054.
- [25] B. O. Olorunfemi, O. A. Ogbolumani, and N. Nwulu, "Solar Panels Dirt Monitoring and Cleaning for Performance Improvement: A Systematic Review on Smart Systems," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 14, no. 17. 2022. doi: 10.3390/su141710920.
- [26] Y. Xu, J. Li, Q. Tan, A. L. Peters, and C. Yang, "Global status of recycling waste solar panels: A review," *Waste Management*, vol. 75. 2018. doi: 10.1016/j.wasman.2018.01.036.
- [27] M. S. Chowdhury *et al.*, "An overview of solar photovoltaic panels' end-of-life material recycling," *Energy Strategy Reviews*, vol. 27. 2020. doi: 10.1016/j.esr.2019.100431.