

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Deskripsi Lapangan

Penelitian ini dilaksanakan di area sebelah Laboratorium Energi Terbarukan yang memiliki paparan sinar matahari optimal dan minim gangguan bayangan dari bangunan di sekitarnya. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada akses langsung terhadap sinar matahari hampir sepanjang hari serta kondisi topografi yang sesuai untuk pemasangan sistem panel surya. Secara geografis, lokasi penelitian berada pada koordinat $[-6.167987133070733, 106.72645267818942]$ dengan ketinggian sekitar ± 8 meter di atas permukaan laut. Daerah ini beriklim tropis dengan rata-rata intensitas radiasi matahari harian antara 4–6 kWh/m², sehingga sangat ideal untuk pengujian sistem pembangkit listrik tenaga surya.

Setelah proses pengambilan data pada panel surya monokristalin dan bifasial selesai dilakukan, diperoleh berbagai data keluaran seperti intensitas iradiasi matahari, arus dan tegangan pada panel, suhu panel serta suhu lingkungan, serta kondisi cuaca saat pengujian.



Gambar 4. 1 Single Line Diagram

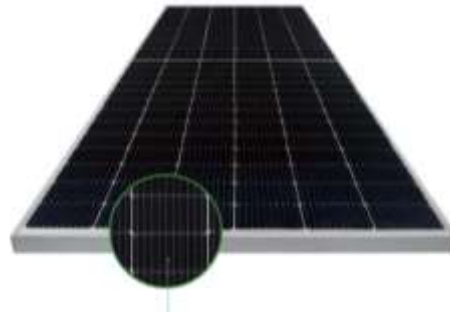
Pada penelitian ini, sistem *On-Grid* terdapat 5 panel surya monokristalin tipe-N yang disusun secara seri. Panel surya monokristalin mampu bekerja dengan efisien berkat toleransi suhu yang unggul, bahkan pada temperatur tinggi dan memiliki tingkat degradasi yang lebih rendah dari waktu ke waktu yang dapat mempertahankan tingkat kinerja untuk jangka waktu yang lama. Pada penelitian ini juga terdapat sistem *On-Grid* menggunakan 5 panel surya bifasial yang disusun secara seri. Panel surya bifasial

memiliki desain dua sisi untuk menangkap sinar matahari dari sisi depan dan belakang sehingga dapat memperoleh kinerja tinggi dalam kondisi pencahayaan yang menyebar sehingga ideal untuk lokasi dengan pola cuaca yang bervariasi.

4.1.1. Jenis dan Spesifikasi Alat yang digunakan

4.1.1.1. Panel Surya Monokristalin

Dalam penelitian ini, panel surya yang digunakan merupakan panel monokristalin tipe P (p-type) dari Lab-Renewable. Fokus penelitian hanya mencakup dua jenis panel surya, yaitu panel monokristalin dan panel bifasial. Adapun spesifikasi dari panel monokristalin yang digunakan adalah sebagai berikut:



Gambar 4. 2 Panel Surya Monokristalin

Panel surya monokristalin merupakan jenis panel yang terbuat dari silikon monokristalin dengan tingkat kemurnian tinggi. Proses pembuatannya dilakukan dengan memotong batang silikon tunggal menjadi irisan tipis yang kemudian diolah menjadi sel surya. Keunggulan utama panel ini terletak pada struktur kristal silikon tunggal yang teratur, sehingga elektron dapat bergerak lebih bebas dan menghasilkan konversi energi surya ke listrik yang lebih efisien dibandingkan panel polikristalin. Efisiensi panel monokristalin umumnya berkisar antara 15% hingga lebih dari 20%. Panel ini bekerja optimal di bawah paparan sinar matahari penuh, namun juga menunjukkan kinerja yang lebih baik dibandingkan panel polikristalin saat kondisi cahaya redup atau berawan. Selain itu, panel monokristalin dikenal tahan terhadap kondisi cuaca ekstrem dan memiliki masa pakai yang panjang, biasanya lebih dari 25 tahun.

Panel surya monokristalin tipe – P dengan seri JKM545M-72HL4-V memiliki daya maksimum 545 Wp pada kondisi standar (SCT) dengan efisiensi modul sebesar 21,13%. Panel surya ini memiliki dimensi luas 2274 mm x 1134 mm dengan ketebalan

35 mm, dan berat 28 kg (sekitar 61,73 pon). Panel ini menggunakan jenis sel Tipe P Monokristalin dengan jumlah total 144 sel (tersusun 6x24). Bagian depan panel dilengkapi dengan kaca berketebalan 3,2 mm yang memiliki fitur lapisan anti-refleksi, transmisi tinggi, rendah besi, dan terbuat dari kaca tempered untuk durabilitas. Rangka panel terbuat dari paduan aluminium anodized, memastikan ketahanan terhadap korosi. Kotak sambungan (*junction box*) memiliki rating IP68, menunjukkan ketahanan terhadap debu dan air. Untuk koneksi listrik, panel ini dilengkapi dengan kabel output TUV 14,0mm² dengan panjang 400mm untuk positif (+) dan 200mm untuk negatif (-), atau dapat disesuaikan panjangnya. Panel ini memiliki tegangan daya maksimum (Vmp) 40,80 V dan arus daya maksimum (Imp) 13,36 A. Dirancang untuk beroperasi pada suhu antara 40°C hingga 85°C, panel ini memiliki tegangan sistem maksimum 1000/1500 VDC dan dilengkapi dengan sekering seri maksimum 25 A. Toleransi dayanya berkisar antara 0 hingga +3%. Panel ini juga menunjukkan koefisien suhu Pmax sebesar -0,35%/°C, koefisien suhu Voc sebesar -0,28%/°C, dan koefisien suhu Isc sebesar 0,048%/°C, dengan suhu sel operasi nominal (NOCT) 45±2°C.

Tabel 4. 1 Spesifikasi Panel Monokristalin

Panel Monokristalin JKM545M-72HL4-V		
Kategori	Spesifikasi	
	SCT	NOCT
Daya Maksimum (Pmax)	545 Wp	405 Wp
Tegangan Daya Maksimum (Vmp)	40.80 V	38.25 V
Arus Daya Maksimum (Imp)	13.36 A	10.60 A
Tegangan Sirkuit Terbuka (Voc)	49.52 V	46.74 V
Arus Sirkuit Pendek (Isc)	13.94 A	11.26 A
Efisiensi Modul STC (%)	21,13 %	
Suhu Operasional (°C)	40°C~+85°C	
Tegangan Sistem Maksimum	1000/1500VDC	
Nilai Sekering Seri Maksimum	25 A	
Toleransi Daya	0-+3%	
Koefisien Suhu Pmax	-0.35% / °C	
Koefisien Suhu Voc	-0.28% / °C	
Koefisien Suhu Isc	0,048% / °C	
Suhu Sel Operasi Nominal (NOCT)	45-2°C	

Karakteristik Mekanik	
Luas Panel	2274 mm x 1134 mm
Ketebalan	35 mm
Jenis Sel	Tipe P Monokristalin
Jumlah Sel	144 (6 24)
Dimensi	2274113435mm (89.5344.651.38 inci)
Berat	28 kg (61,73 pon)
Kaca Depan	3,2 mm, Lapisan Anti-Refleksi, Transmisi Tinggi, Rendah Besi, Kaca Tempered
Rangka	Paduan Aluminium Anodized
Kotak Sambungan	IP 68
Kabel Output	TUV 14,0mm ² (+): 400mm, (-): 200mm atau Panjang Disesuaikan

4.1.1.2. Panel Surya Bifasial

Jenis panel lainnya yang digunakan dalam penelitian ini adalah panel bifasial yang berasal dari *Lab-Renewable*. Adapun spesifikasi dari panel bifasial yang digunakan adalah sebagai berikut:



Gambar 4. 3 Panel Surya Bifasial

Panel surya bifasial memiliki kemampuan untuk menyerap sinar matahari dan menghasilkan listrik dari kedua sisinya, yaitu bagian depan dan belakang. Berbeda dengan panel surya konvensional (monofasial) yang hanya menerima cahaya dari satu sisi, panel bifasial memanfaatkan kedua permukaannya untuk menangkap energi. Sisi depan berfungsi seperti panel surya biasa yang menyerap sinar matahari langsung,

sementara sisi belakang memanfaatkan cahaya yang dipantulkan dari permukaan seperti tanah, atap berwarna terang, air, atau salju. Sel surya pada panel bifasial dirancang khusus agar radiasi matahari dapat menembus dan diterima dari kedua sisi, sehingga mampu menghasilkan energi fotovoltaik secara maksimal. Tergantung pada kondisi pemasangan, peningkatan daya yang dihasilkan dapat mencapai antara 5% hingga 30% atau bahkan lebih tinggi.

Panel surya Bifasial SPR-P6-545-COM-M-BF memiliki daya nominal 545 W dengan efisiensi panel 20,90% dan toleransi daya hingga +3%. Panel ini beroperasi pada tegangan terukur (V_{mpp}) 39,3 V dan arus terukur (I_{mpp}) 13,87 A, dengan tegangan sirkuit terbuka 47,4 V dan arus sirkuit pendek 14,81 A. Fitur bifasialitasnya mencapai $70\% \pm 10\%$, memungkinkan peningkatan daya yang signifikan; misalnya, dengan penguatan bifasial 20%, P_{max} dapat mencapai 654 W. Dirancang untuk tegangan sistem maksimum 1500 V IEC dan suhu operasional -40°C hingga $+85^{\circ}\text{C}$, panel ini dilengkapi dengan sekering seri maksimum 25 A dan menunjukkan koefisien suhu daya $-0,34\%/^{\circ}\text{C}$, koefisien suhu tegangan $-0,26\%/^{\circ}\text{C}$, dan koefisien suhu arus $0,05\%/^{\circ}\text{C}$.

Tabel 4. 2 Spesifikasi Panel Bifasial

Panel Bifasial SPR-P6-545-COM-M-BF	
Kategori	Spesifikasi
Daya Nominal (P_{nom})	545 W
Toleransi Daya	+3/0%
Efisiensi Panel	20.90%
Tegangan Terukur (V_{mpp})	39.3 V
Arus Terukur (I_{mpp})	13.87 A
Tegangan Sirkuit Terbuka	47.4 V
Arus Sirkuit Pendek	14.81 A
Bifasialitas (ϕP_{maks})	70% +/- 10%
Tegangan Sistem Maksimum	1500 V IEC
Suhu	-40°C to $+85^{\circ}\text{C}$
Sekring Seri Maksimum	25 A
Koefisien Suhu Daya	$-0.34\% / ^{\circ}\text{C}$
Koefisien Suhu Tegangan	$-0.26\% / ^{\circ}\text{C}$
Koefisien Suhu Arus	$0.05\% / ^{\circ}\text{C}$
Keuntungan Bifasial	

Pmax dengan Penguatan Bifasial 5%	572 W
Isc dengan Penguatan Bifasial 5%	15.55 A
Pmax dengan Penguatan Bifasial 10%	600 W
Isc dengan Penguatan Bifasial 10%	16.29 A
Pmax dengan Penguatan Bifasial 20%	654 W
Isc dengan Penguatan Bifasial 20%	17.77 W

Karakteristik Mekanik

Luas Panel	2384 mm x 1092 mm
Ketebalan	35 mm
Ketahanan Benturan	Hujan es berdiameter 25 mm pada kecepatan 23 m/s
Sel Surya	Perc monokristalin
Kaca	Kaca 2,0 mm, diperkuat panas
Kotak Sambungan	IP-68, 3 dioda bypass
Konektor	Renhe RHC2 atau Zerun Z4S atau Stäubli Evo2
Berat	32,4 kg
Beban Maks	Angin: 2400 Pa, 245 kg/m ² depan & belakang Salju: 5400 Pa, 550 kg/m ² depan
Rangka	Paduan aluminium anodisasi perak

Tes dan Sertifikasi

Uji Standar	IEC 61215, IEC 61730 dengan rating 1500 V
Peringkat Api	Kelas C (IEC 61730)
Sertifikat Mutu	ISO 9001:2015, ISO 14001:2015
Kepatuhan EHS	ISO 45001-2018, Skema Daur Ulang
Uji Amonia	IEC 62716
Debu dan Pasir	IEC 60068-2-68
Uji Semprotan Garam	IEC 61701 (tingkat keparahan maksimum)
Uji LeTID	Uji LeTID TUV 2fg 2689/04.19 (Deteksi LeTID)
Uji PID	IEC 62804

4.1.1.3. Inverter

Inverter adalah perangkat konversi daya listrik yang berfungsi mengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC).



Gambar 4. 4 Inverter

Prinsip kerja PLTS adalah ketika cahaya matahari mengenai panel surya, elektron dalam sel surya bergerak dari sisi N menuju sisi P, sehingga menghasilkan energi listrik pada terminal keluarannya. Besarnya energi yang dihasilkan bergantung pada konfigurasi atau jumlah sel surya dalam satu panel. Energi yang dihasilkan oleh panel surya berupa arus searah (DC) dengan tegangan yang dipengaruhi oleh jumlah sel surya serta intensitas cahaya matahari. Untuk memperoleh arus bolak-balik (AC), sistem PLTS perlu dihubungkan dengan inverter yang berfungsi mengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC).

Inverter dengan seri SUN2000-5KTL-M1 memiliki tegangan masukan DC maksimum sebesar 1100 VDC sedangkan arus masukan DC maksimum sebesar 13,5 A. arus hubung singkat sebesar 19,5 A. Rentang kerja DC MPPT berada pada kisaran 140-980 VDC. Tegangan nominal keluaran AC inverter yaitu 220/380 VAC, 230/400 VAC dengan frekuensi operasi nominal sebesar 50/60 Hz. Daya keluaran AC terukur sebesar 5 kW, sedangkan arus keluaran AC terukur sebesar 7,6/7,3 A. Arus keluaran AC maksimum yang dapat dihasilkan sebesar 8,5 A. Faktor daya inverter berada pada rentang 0,8(*lagging*) hingga -0,8(*leading*). Inverter ini memiliki rentang suhu operasi antara -25 hingga +80°C, dan menggunakan topologi non-isolasi. Tegangan nominal baterai sebesar 600 VDC dengan arus maksimum baterai sebesar 16,7 ADC.

Tabel 4. 3 Spesifikasi Inverter

Inverter SUN2000-5KTL-M1	
Kategori	Spesifikasi
DC Max Input Voltage	1100 VDC
DC Max Input Curent	13,5 A/ 13,5 A
Isc	19,5 A/19,5 A
DC MPPT Range	140 – 980 VDC
AC Output Nominal Voltage	220/380 VAC, 230/400 VAC
AC Nominal Operating Frequency	50/60 Hz
AC Ouput Rated Power	5 kW
AC Output Rated Current	7,6/7,3 A
AC Max Output Current	8,5 A
Power Factor	0,8(lagging), -0,8(leading)
Operating Temperature Range	-25 - +80°C
Inverter Topology	Non-Isolation
Battery Normal Voltage	600 VDC
Battery Maximum Current	16,7 ADC

4.1.1.4. Piranometer

Sensor pyranometer berfungsi untuk mengukur intensitas radiasi matahari yang diterima oleh panel surya. Informasi yang diperoleh dari sensor ini sangat berperan dalam menganalisis kinerja sistem PLTS serta dalam menentukan tingkat efisiensi konversi energi surya.



Gambar 4. 5 Sensor Pyranometer

Sensor Pyranometer yang digunakan yaitu Sensor IMT SI-RS485TC-2T-v-MB v2.02 adalah sensor solar irradiance yang menggunakan output Modbus, memiliki

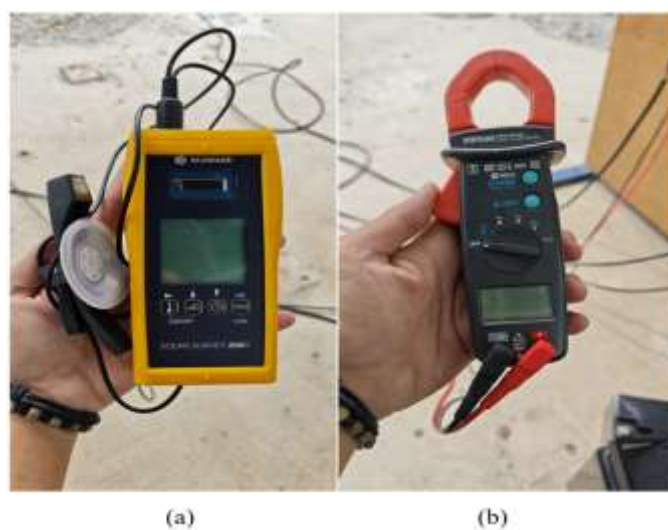
dimensi 155 mm x 85 mm x 39 mm, terbuat dari aluminium dengan lapisan powder-coated, dengan berat sekitar 350 – 470 gram, memiliki perlindungan IP 67, dan dilengkapi dengan kabel penghubung sepanjang 3 m yang tahan UV dan cuaca.

Tabel 4. 4 Spesifikasi Pyranometer

Pyranometer IMT SI-RS485TC-2T-v-MB v2.02	
Kategori	Spesifikasi
Output	Modbus
Dimensi	155 mm (panjang) x 85 mm (lebar) x 39 mm (tinggi)
Material	Aluminium dengan lapisan powder coated
Berat	350 – 470 gram
Tingkat Proteksi	IP 67
Kabel Penghubung	3 m

4.1.1.5. Alat ukur yang digunakan

Dalam pelaksanaan penelitian ini digunakan dua jenis alat ukur untuk memperoleh data atau parameter, yaitu *Solar Survey 200R* dan tang ampere. Alat *Solar Survey 200R* merek *Seaward* berfungsi untuk mengukur intensitas iradiasi matahari secara real-time dalam satuan W/m^2 . Selain itu, alat ini juga mampu mengukur sudut kemiringan panel, suhu panel surya, serta suhu lingkungan. Sementara itu, tang ampere digunakan untuk mengukur arus dan tegangan DC pada panel surya maupun baterai.



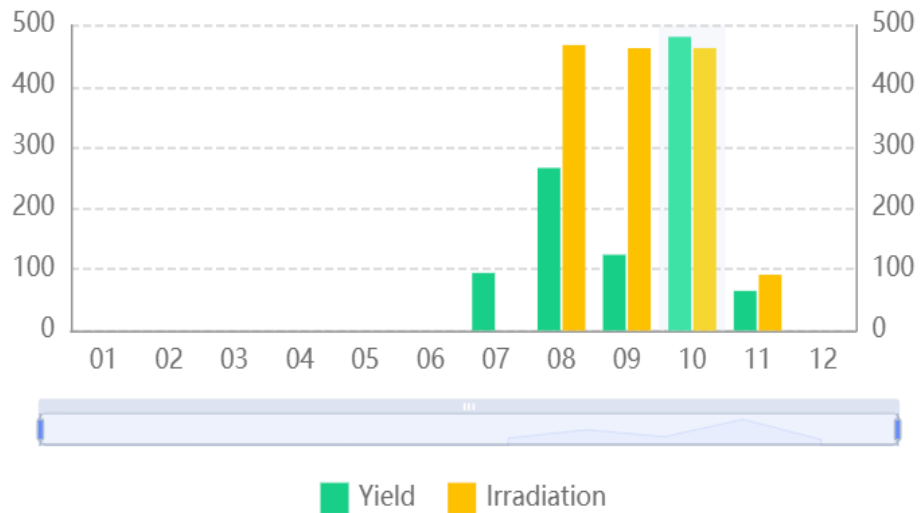
Gambar 4. 6 (a). Solar Survey 200R, (b). Tang Ampere

Tabel 4. 5 Spesifikasi Solar Survey 200R

Parameter	Spesifikasi
Model / Part No.	Solar Survey 200R (396A914)
Fungsi Utama	Meter <i>irradiance</i> dengan <i>compass</i> , <i>inclinometer</i> , <i>datalogger</i> , dan konektivitas <i>wireless</i>
Irradiance (Radiasi Matahari)	Rentang tampilan: 0–1500 W/m ² atau 30–500 BTU/hr-ft ² ; ukuran pengukuran: 100–1250 W/m ² (± 30 –400 BTU/hr-ft ²); resolusi: 1 W/m ² atau 1 BTU/hr-ft ²
Temperatur	Tampilan: –30 °C hingga +125 °C; resolusi: 1 °C; menggunakan probe kaki-suction yang disertakan untuk suhu ambient dan modul PV
Compass Bearing	Tampilan & pengukuran: 0° hingga 360°; resolusi: 1°
Inclinometer (Pitch Atap)	Tampilan & pengukuran: 0° hingga 90°; resolusi: 1°
Datalogging	Kapasitas: hingga 5000 dataset; interval sampling: 1–60 menit (atur pengguna); hasil bisa diunduh via USB; kompatibel dengan software SolarCert Elements v1.1
Konektivitas	USB untuk download ke PC; Wireless “Solarlink™” (433 MHz, jangkauan ~30 m) ke PV150/PV200/PV210 & Solar Utility Pro
Display	Layar LCD khusus (custom LCD) dengan fungsi <i>HOLD</i> untuk <i>freeze</i> pembacaan pada lokasi sulit
Power Supply & Baterai	2 × AA baterai alkaline (atau NiMH/NiCd); masa pakai >20.000 pengukuran; mati otomatis setelah ~2 menit (kecuali saat transmisi)
Dimensi & Berat	$\pm 148 \times 80 \times 33$ mm ($14.8 \times 8.0 \times 3.3$ cm); berat ~0.25 kg (0.6 lb)
Kalibrasi & Garansi	Sertifikat kalibrasi disertakan; kalibrasi ulang setiap 1 tahun; garansi 2 tahun

4.1.2. Hasil Penelitian

Grafik berikut menunjukkan total Iradiasi dalam waktu satu tahun yang diperoleh dari hasil monitoring sistem PLTS melalui software Fusion Solar.



Gambar 4. 7 Data Iradiasi Hasil Monitoring Fusion Solar

Pada tahun 2025, dari hasil pengukuran terdapat Iradiasi Panel tertinggi pada bulan oktober. Maka dari itu dapat dilihat hasil pengukuran sepanjang bulan oktober iradiasi matahari tertinggi.

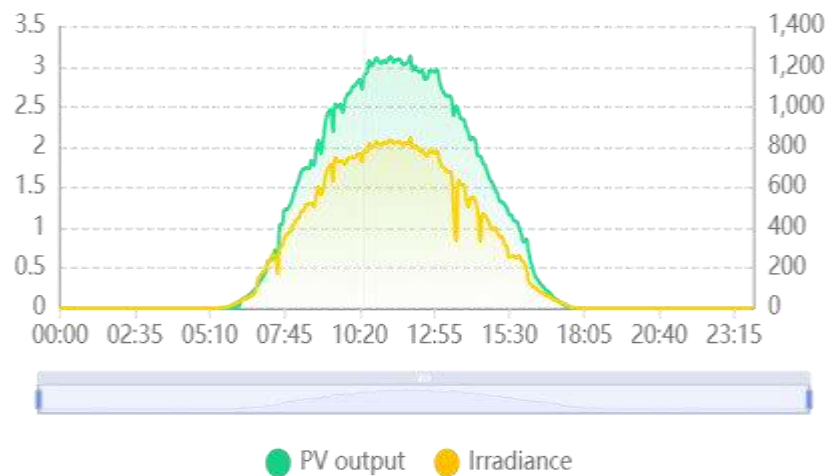


Gambar 4. 8 Data Total Iradiasi Bulan Oktober 2025

Sepanjang bulan oktober hasil pengukuran iradiasi matahari tertinggi terdapat pada tanggal 09 Oktober 2025 dan hasil pengukuran iradiasi matahari paling rendah yaitu pada tanggal 28 Oktober 2025. Hal ini dapat terjadi karena dipengaruhi beberapa faktor, diantaranya yaitu intensitas cahaya matahari yang jatuh pada permukaan panel. Semakin tinggi intensitas radiasi maka semakin banyak foton yang mengenai sel surya sehingga

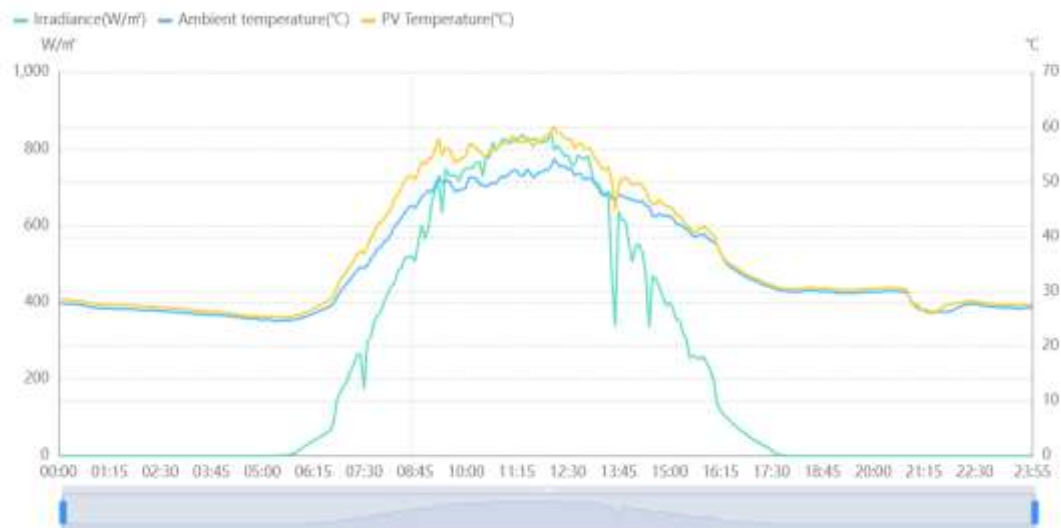
pada waktunya akan mengakibatkan lebih banyak pelepasan elektron dan akan menghasilkan arus listrik yang lebih besar. Naik-turunnya iradiasi juga dapat disebabkan oleh kondisi cuaca dan geografis lokasi.

Grafik berikut menunjukkan nilai yield dan iradiasi tertinggi pada tanggal 09 Oktober 2025.



Gambar 4. 9 Grafik Iradiasi Tertinggi

Grafik berikut menunjukkan nilai Iradiasi, Suhu Lingkungan dan Suhu Panel tertinggi pada tanggal 09 Oktober 2025.



Gambar 4. 10 Grafik Iradiasi, Suhu Lingkungan dan Suhu Panel Tertinggi

Grafik diatas menunjukkan hubungan antara iradiasi sebagai intensitas cahaya matahari dengan suhu udara sekitar dengan suhu permukaan panel surya. Dimulai dari fase pagi hari (06:00 – 08:00), nilai iradiasi mulai meningkat dari 0 menjadi 200 – 400 W/m². Kenaikan iradiasi berlangsung cukup signifikan mulai pukul 07:00 yang

menunjukkan matahari mulai efektif menyinari panel. Suhu udara sekitar pada periode ini relatif stabil di kisaran 28–30°C, dan hanya mengalami sedikit kenaikan seiring bertambahnya iradiasi. Berbeda dengan suhu lingkungan, suhu permukaan panel meningkat lebih cepat dan mencapai sekitar 40–50°C pada pukul 08:00. Hal ini menunjukkan bahwa panel surya menyerap energi radiasi matahari sehingga suhu panel meningkat lebih cepat dibanding suhu lingkungan. Pada kondisi normal, suhu panel selalu lebih tinggi 10–20°C dari suhu lingkungan. Memasuki fase tengah hari (09:00 – 13:00) iradiasi mencapai nilai maksimum sekitar 800 – 900 W/m² sekitar jam 11:00–12:00. Pada periode ini terlihat beberapa fluktuasi kecil yang kemungkinan disebabkan oleh keberadaan awan yang sesekali menutupi matahari. Untuk suhu lingkungan meningkat secara bertahap hingga 35–37°C. Sementara itu, panel surya mencapai puncaknya pada rentang 60–65°C, dan pada beberapa kondisi mendekati 70°C. Pola fluktuasi suhu panel mengikuti perubahan iradiasi, dimana penurunan iradiasi akibat awan menyebabkan suhu panel ikut menurun. Pada fase ini, panel berada pada kondisi suhu maksimum sehingga efisiensi cenderung menurun, sesuai dengan karakteristik fotovoltaik yang menunjukkan bahwa peningkatan suhu berpengaruh terhadap penurunan tegangan dan efisiensi daya. Selanjutnya pada fase sore hari (13:00 – 18:00) iradiasi mengalami penurunan dari 800 W/m² ke 200 W/m², hingga mendekati 0 menjelang 18:00. Penurunan iradiasi yang cukup signifikan terjadi sekitar 13:30, yang mungkin disebabkan tertutupnya matahari oleh awan tebal. Suhu lingkungan menurun perlahan dari sekitar 35°C menjadi 30°C sedangkan suhu panel turun lebih signifikan dari sekitar 60°C menjadi 40°C kemudian mendekati 30°C seiring berkurangnya intensitas penyinaran matahari. Pada fase sore hari, penurunan suhu panel sebanding dengan penurunan iradiasi dan tidak menunjukkan adanya indikasi *overheating* yang tidak normal.

Hubungan antara iradiasi dengan suhu lingkungan menunjukkan bahwa peningkatan iradiasi diikuti oleh kenaikan suhu lingkungan, namun dengan laju yang lebih lambat. Perubahan suhu lingkungan berlangsung secara bertahap, dan tidak secara langsung merespons fluktuasi iradiasi yang bersifat sesaat, seperti akibat tertutupnya matahari oleh awan. Sementara itu hubungan antara iradiasi dengan suhu panel memperlihatkan ketika iradiasi melebihi 800 W/m², suhu panel meningkat secara signifikan hingga mencapai kisaran 60 – 70°C. Kondisi ini terjadi karena suhu panel sangat sensitif terhadap intensitas radiasi matahari. Adapun hubungan antara suhu panel

dengan suhu lingkungan yaitu suhu panel secara konsisten berada sekitar 10 – 25°C lebih tinggi dibandingkan suhu lingkungan, yang disebabkan oleh kemampuan panel dalam menyerap energi cahaya dan mengkonversi sebagian energi tersebut menjadi panas.

Dari grafik diatas dapat disimpulkan bahwa sistem PLTS menunjukkan pola operasi harian yang normal. Nilai iradiasi yang, yaitu sekitar (800–900 W/m²) terjadi pada rentang waktu 10:30–12:00. Pada kondisi ini, suhu panel mencapai 60 – 70°C sehingga berpotensi menurunkan efisiensi listrik sebesar 10–15%. Sementara itu suhu lingkungan berada pada kisaran 35–37°C, yang masih tergolong wajar untuk kondisi siang hari di wilayah yang beriklim tropis.

Grafik berikut menunjukkan Tegangan dan Arus Panel Monokristalin dan Bifasial tertinggi pada tanggal 09 Oktober 2025.



Gambar 4. 11 Grafik Tegangan dan Arus Panel Tertinggi

Grafik diatas menunjukkan karakteristik operasional dua jenis panel fotovoltaik yaitu PV1 (Monokristalin) dan PV2 (Bifasial), selama satu hari pengmatan berdasarkan dua parameter utama yaitu tegangan input dan arus input. Pada fase pagi hari (06:00 – 08:00), tegangan kedua panel meningkat seiring dengan mulai munculnya sinar matahari. Tegangan PV1 relatif stabil pada kisaran 130 – 150 V sedangkan PV2 menunjukkan nilai tegangan yang lebih tinggi dann stabil pada rentang 175 – 190 V. Tegangan yang lebih tinggi pada PV2 disebabkan oleh kemampuannya menyerap radiasi cahaya dari kedua sisi permukaan panel. Pada periode pagi menjelang siang (06:00 – 11:00), Arus pada PV1 meningkat secara bertahap hingga mencapai puncak sekitar 1.5 – 1.7 A. Sementara itu,

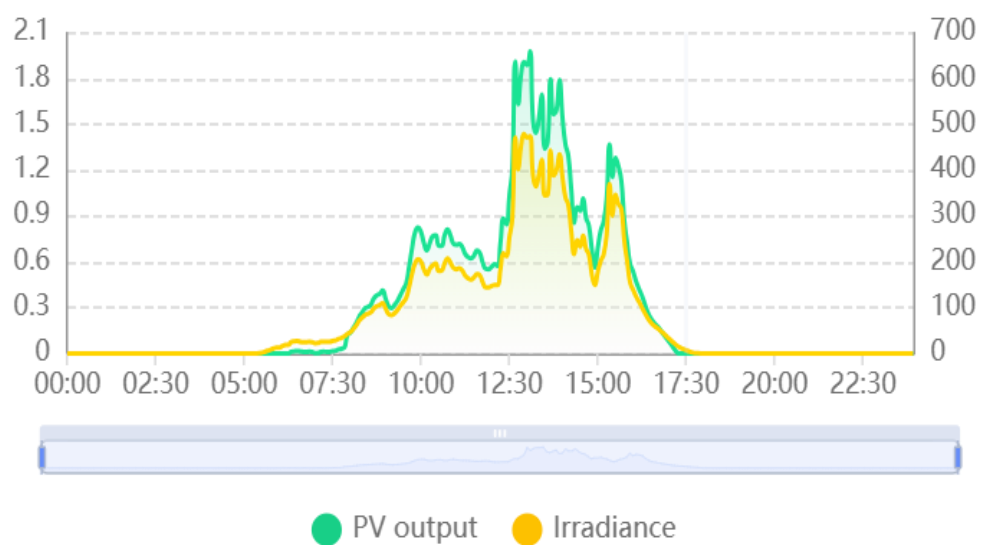
arus PV2 juga mengalami peningkatan, namun menunjukkan fluktuasi yang jauh lebih besar, dengan puncak arus berkisar antara 4 – 5 A sebelum mengalami penurunan yang signifikan. Terjadi lonjakan arus pada PV2 sekitar pukul 08:10 – 09:10 yang kemudian turun mendekati nol. Fluktuasi yang besar ini mengindikasikan adanya beberapa faktor, antara lain gangguan bayangan sesaat akibat pergerakan awan dan perubahan pantulan cahaya dari permukaan tanah yang memengaruhi kinerja panel bifasial. Pada fase siang hari (11:00 – 15:00) tegangan PV1 cenderung stabil di kisaran 140–150, namun arus yang dihasilkan relatif kecil, yaitu sekitar 0 – 0,5 A. Kondisi ini menunjukkan adanya penurunan iradiasi atau kemungkinan terjadinya shading. Untuk PV2, tegangan tetap stabil pada rentang 175–185 V, namun arus yang dihasilkan hampir nol sejak pukul 11:00 hingga sore hari. Meskipun panel masih menerima cahaya, daya keluaran menjadi sangat rendah. Hal ini disebabkan oleh sudut datang cahaya yang kurang optima, berkurangnya pantulan dari permukaan sekitar, serta karakteristik panel bifasial yang sangat bergantung pada pantulan cahaya, yang cenderung menurun pada saat posisi matahari lebih tegak lurus. Memasuki fase sore hari (15:00 – 18:00) Kedua panel menunjukkan penurunan arus secara bertahap seiring dengan menurunnya intensitas radiasi matahari. Tegangan PV1 dan PV2 tetap relatif stabil hingga matahari mendekati waktu terbenam.

Tabel 4. 6 Perbandingan Panel Monokristalin dan Bifasial

Parameter	PV1 (Monokristalin)	PV2 (Bifasial)	Analisis
Tegangan	130–150 V	175–190 V	PV2 lebih tinggi sesuai karakter bifasial
Arus Puncak	1.5–1.7 A	4–5 A	PV2 menyerap cahaya lebih banyak
Stabilitas Arus	Stabil	Tidak stabil (spike & drop)	PV2 sensitif terhadap pantulan/shading
Siang hari	Arus masih ada	Arus hampir 0	PV2 kehilangan pantulan cahaya pada siang

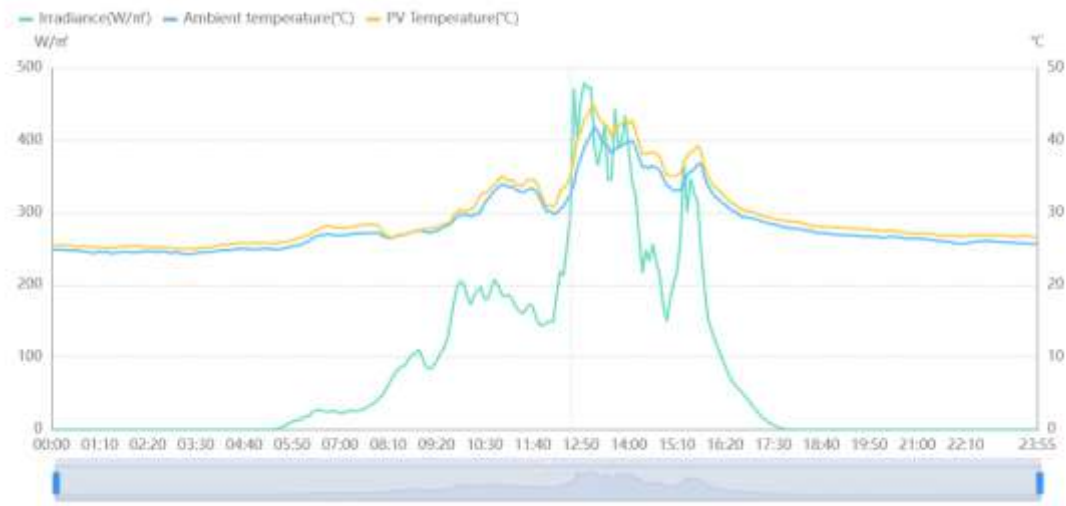
PV2 (Bifasial) memiliki potensi menghasilkan arus yang lebih besar, tetapi kinerjanya cenderung tidak stabil dan sangat dipengaruhi oleh intensitas pantulan cahaya serta kondisi permukaan tanah di sekitarnya. Sebaliknya PV1 (Monokristalin) menunjukkan kinerja yang lebih stabil, meskipun nilai arus puncak yang dihasilkan relatif lebih kecil. Hubungan antara tegangan dan arus terhadap kinerja panel menunjukkan bahwa kondisi tegangan yang tinggi disertai arus yang rendah akan menghasilkan daya keluaran yang kecil, sebagaimana terlihat pada panel bifasial pada periode siang hari. Selain itu arus sangat dipengaruhi oleh suhu panel, dimana peningkatan suhu cenderung menyebabkan kenaikan arus yang tidak signifikan namun diikuti oleh penurunan tegangan. Panel Monokristalin relatif lebih stabil karena karakteristiknya yang umumnya lebih linear dibandingkan dengan panel bifasial.

Grafik berikut menunjukkan nilai Yield dan Iradiasi Terendah pada tanggal 28 Oktober 2025.



Gambar 4. 12 Grafik Iradiasi Terendah

Grafik berikut menunjukkan nilai Iradiasi, Suhu Lingkungan, dan Suhu Panel terendah pada tanggal 28 Oktober 2025.



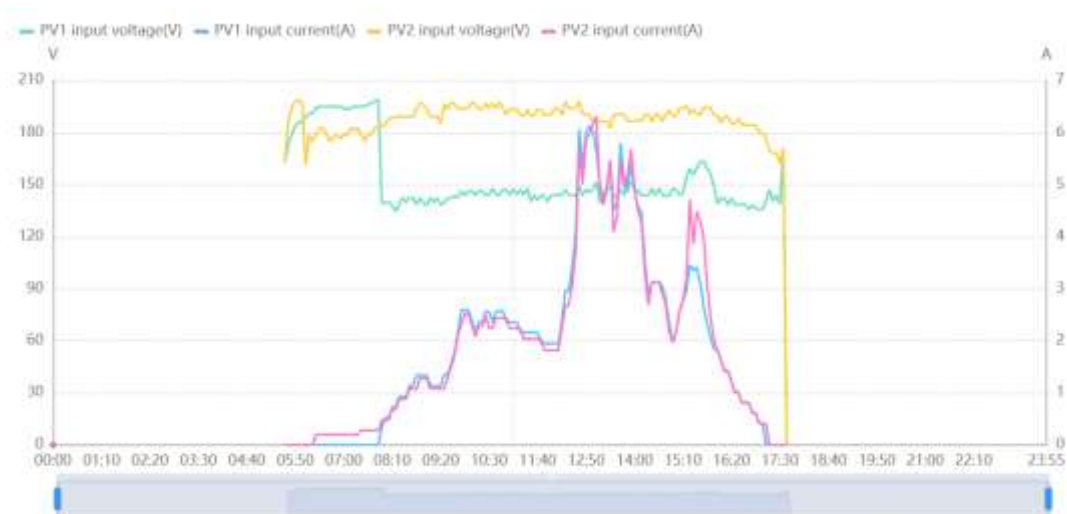
Gambar 4. 13 Grafik Iradiasi, Suhu Lingkungan dan Suhu Panel Terendah

Grafik diatas menunjukkan hubungan antara iradiasi matahari sebagai intensitas cahaya matahari dengan suhu lingkungan serta suhu permukaan panel. Pada fase pagi hari (06:00 – 10:00), nilai iradiasi meningkat secara bertahap dari 0 hingga mencapai kisaran 150–200 W/m². Kondisi ini menunjukkan cuaca yang relatif cerah, ditandai oleh peningkatan iradiasi yang berlangsung secara stabil dan normal. Ketika menjelang siang (10:00 – 12:30) Iradiasi mengalami peningkatan signifikan hingga mencapai 450–480 W/m², yang merupakan nilai puncak pada hari tersebut. Ketika siang menjelang sore (13:00 – 18:00) iradiasi mengalami penurunan tajam yang diakibatkan adanya awan. Setelah pukul 15:30, iradiasi turun drastis menuju 0 saat mendekati matahari terbenam. Untuk suhu lingkungan pada pagi hari berada pada rentang 24 - 26°C. Naik perlahan seiring intensitas cahaya bertambah. Pada siang hari suhu lingkungan mencapai sekitar 32–34°C. Kenaikan ini tergolong normal karena intensitas cahaya maksimum. Ketika sore hari Suhu turun perlahan kembali ke 26–27°C menjelang matahari terbenam. Untuk suhu panel pada pagi hari berawal di kisaran 25–26°C, sama dengan suhu lingkungan. Ketika menjelang siang hari, suhu panel mengalami kenaikan hingga mencapai 40–45°C. Adapun puncak suhu panel terjadi beberapa saat setelah puncak iradiasi, yang diakibatkan karena panel membutuhkan waktu untuk menyerap panas. Ketika siang hari, iradiasi yang bersifat fluktuatif menyebabkan suhu panel juga turut mengalami perubahan naik dan turun seiring dengan perubahan intensitas cahaya. Panel mencapai suhu tertinggi sekitar

43–45°C. Pada saat sore hari, seiring iradiasi menurun, suhu panel turun kembali sekitar 28–30°C.

Hubungan antara iradiasi dengan suhu panel menunjukkan bahwa peningkatan iradiasi secara langsung diikuti oleh kenaikan suhu panel. Panel fotovoltaik memiliki sensitivitas yang tinggi terhadap perubahan intensitas cahaya, yang terlihat ketika iradiasi menurun secara tiba-tiba akibat tertutup awan sehingga suhu panel turut mengalami penurunan. Selain itu hubungan antara suhu lingkungan dengan suhu panel menunjukkan bahwa suhu panel secara konsisten lebih tinggi dibandingkan suhu lingkungan. Hal ini disebabkan karena panel menyerap cahaya dan mengubahnya menjadi listrik dan menyebabkan panas. Iradiasi mengalami fluktuasi sekitar 13:00–15:00 menyebabkan perubahan yang signifikan pada suhu panel. Hal ini dapat dipengaruhi oleh kondisi berawan. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa Iradiasi merupakan faktor utama yang mempengaruhi suhu panel fotovoltaik. Suhu panel secara konsisten lebih tinggi dibanding suhu lingkungan, khususnya pada saat terjadinya puncak iradiasi. Perubahan iradiasi akibat keberadaan awan secara langsung berdampak pada suhu panel dan stabilitas sistem. Sementara itu, suhu lingkungan cenderung meningkat secara bertahap dan tidak bersifat fluktuatif, sehingga pengaruhnya terhadap suhu panel relatif lebih kecil dibandingkan iradiasi.

Grafik berikut menunjukkan nilai Tegangan dan Arus Panel Monokristalin dan Bifasial terendah pada tanggal 28 Oktober 2025.



Gambar 4. 14 Grafik Tegangan dan Arus Panel Terendah

Grafik diatas merupakan grafik hubungan antara tegangan dan arus masukan pada PV1 (Monokristalin) dan PV2 (Bifasial) selama satu hari operasi sistem PLTS. Pada pagi hari (06:00 – 07:00), Tegangan masukan panel monokristalin mulai terbentuk dan meningkat hingga mencapai kondisi stabil pada kisaran 145 – 150 V. Menjelang siang hingga sore (10:00 – 15:00), Tegangan PV1 berada pada rentang 150 – 160 V, relatif stabil dengan sedikit fluktuasi. Namun terdapat penurunan tegangan secara tiba-tiba sekitar 13:00 – 14:00, yang dapat disebabkan adanya shading mendadak akibat awan tebal atau ketidaksesuaian antar panel. Untuk tegangan masukan pada panel bifasial terlihat lebih tinggi dibandingkan panel monokristalin, yaitu berada pada kisaran 170 – 190 V dengan kondisi stabil pada kisaran 180 – 190 V selama jam operasi produktif. Penurunan tajam hingga mendekati nol terjadi sekitar 17:30, yang mengindikasikan pemutusan input oleh inverter akibat matahari terbenam. Untuk arus masukan PV1 mulai terdeteksi sekitar 06:00 dan meningkat secara bertahap hingga mencapai puncak sekitar 12:00 – 13:00 dengan nilai sekitar ± 6 A. Pada siang hari, arus mengalami fluktuasi yang cukup signifikan, menunjukkan adanya perubahan iradiasi akibat tutupan awan. Setelah 15:00, arus Kembali menurun hingga mendekati nol pada 18:00. Untuk arus masukan PV2, Polanya mirip dengan PV1 tetapi dengan tingkat fluktuasi yang lebih tinggi. Arus puncak berada pada kisaran 5.5 – 6.5 A, sedikit lebih tinggi dibandingkan PV1. Fluktuasi tajam yang terjadi pada 12:00–14:00, menunjukkan adanya shading parsial dan perubahan iradiasi yang cepat. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa arus pada kedua panel meningkat dan menurun mengikuti pola intensitas cahaya matahari. Selain itu PV2 menghasilkan arus puncak yang sedikit lebih tinggi dibandingkan PV1, yang menunjukkan panel bifasial menerima intensitas cahaya yang lebih besar atau berada pada kondisi operasi yang lebih optimal.

Adapun hubungan antara tegangan – arus – kondisi operasi panel fotovoltaik menunjukkan bahwa arus mencapai nilai pucak pada siang hari, dimana panel menghasilkan daya maksimum saat tingkat iradiasi berada pada kondisi tinggi. Untuk tegangan panel cenderung relatif stabil, sementara arus mengalami fluktuasi yang lebih signifikan. Perubahan arus terutama dipengaruhi oleh variasi iradiasi dan suhu panel. Panel PV1 dan PV2 menunjukkan karakteristik kinerja yang berbeda. Dimana PV2 memiliki nilai tegangan yang lebih tinggi dan arus yang sedikit lebih besar sehingga

menghasilkan performa yang lebih baik. Fluktuasi arus yang cukup besar juga mengindikasikan bahwa kondisi cuaca tidak sepenuhnya cerah.

Data harian hasil pengukuran kinerja panel monokristalin dan bifasial yang meliputi iradiasi, tegangan, arus, suhu panel dan suhu lingkungan pada periode 01 – 15 Oktober 2025 disajikan pada tabel berikut.

Tabel 4. 7 Hasil Pengukuran Panel Monokristalin 01 Oktober 2025

No	Waktu	Iradiasi (W/m ²)	Panel Monokristalin		Suhu		Daya (W)	Efisiensi (%)
			Tegangan (V)	Arus (A)	TPV (°C)	TAM (°C)		
1	09.00	533,2	36,42	4,28	45,7	40,6	155,8776	11,3
2	09.15	815,1	29,26	10,17	49,5	44,9	297,5742	14,2
3	09.30	287,5	28,14	4,05	48,2	42,4	113,967	15,4
4	09.45	920,4	27,8	12,11	54,2	45,4	336,658	14,2
5	10.00	653,2	29,1	8,15	55,7	48,1	237,165	14,1
6	10.15	717,6	28,72	8,73	53,9	47,8	250,7256	13,5
7	10.30	709,2	28,4	9,94	52,5	48	282,296	15,4
8	10.45	702,4	27,86	10,76	57,4	49,1	299,7736	16,6
9	11.00	1038,1	28,06	13,5	55,5	46,8	378,81	14,1
10	11.15	1094	34,02	9,39	59,6	52	319,4478	11,3
11	11.30	217,4	27,06	3,03	48,6	46	81,9918	14,6
12	11.45	1081,2	29,06	10,94	43,5	42	317,9164	11,4
13	12.00	270,4	27,88	3,61	46,9	44,9	100,6468	14,4
14	12.15	223,1	27,84	3,09	47,9	45,6	86,0256	15
15	12.30	272,4	34,72	3,06	29,7	30,9	106,2432	15,1
16	12.45	135,5	28,42	1,64	31,3	30	46,6088	13,3
17	13.00	82,6	36,32	0,79	30,9	31	28,6928	13,5
18	13.15	230,2	37,42	2,49	34,3	32,5	93,1758	15,7
19	13.30	436,9	35,02	4,45	43,8	40,9	155,839	13,8
20	13.45	342,5	28,38	4,77	41	39,6	135,3726	15,3
21	14.00	873,8	37,36	5,55	43,4	39,9	207,348	9,2
22	14.15	302,2	27,52	4,1	47,6	46,8	112,832	14,5
23	14.30	678,8	38,46	5,14	49,2	44,6	197,6844	11,3

Tabel 4. 8 Hasil Pengukuran Panel Bifasial 01 Oktober 2025

No	Waktu	Iradiasi (W/m ²)	Panel Bifasial		Suhu		Daya (W)	Efisiensi (%)
			Tegangan (V)	Arus (A)	TPV (°C)	TAM (°C)		
1	09.00	533,2	37,58	6,01	45,7	40,6	225,8558	16,2
2	09.15	815,1	36,12	9,13	49,5	44,9	329,7756	15,5
3	09.30	287,5	37,58	3,82	48,2	42,4	143,5556	19,2
4	09.45	920,4	40,24	8,85	54,2	45,4	356,124	14,8
5	10.00	653,2	33,7	8,4	55,7	48,1	283,08	16,6
6	10.15	717,6	37,24	8,58	53,9	47,8	319,5192	17,1

7	10.30	709,2	35,36	9,69	52,5	48	342,6384	18,5
8	10.45	702,4	35,48	10,74	57,4	49,1	381,0552	20,8
9	11.00	1038,1	36,68	12,9	55,5	46,8	473,172	17,5
10	11.15	1094	36,52	13,5	59,6	52	493,02	17,3
11	11.30	217,4	35,68	2,76	48,6	46	98,4768	17,4
12	11.45	1081,2	38,5	11,65	43,5	42	448,525	15,9
13	12.00	270,4	37,3	3,35	46,9	44,9	124,955	17,7
14	12.15	223,1	36,98	3,06	47,9	45,6	113,1588	19,5
15	12.30	272,4	38,7	3,39	29,7	30,9	131,193	18,5
16	12.45	135,5	38,46	1,75	31,3	30	67,305	19,1
17	13.00	82,6	37,52	0,87	30,9	31	32,6424	15,1
18	13.15	230,2	39,54	2,75	34,3	32,5	108,735	18,1
19	13.30	436,9	37,98	6,24	43,8	40,9	236,9952	20,8
20	13.45	342,5	37,84	4,56	41	39,6	172,5504	19,3
21	14.00	873,8	38,9	10,55	43,4	39,9	410,395	18
22	14.15	302,2	37,04	4,11	47,6	46,8	152,2344	19,3
23	14.30	678,8	38,86	7,98	49,2	44,6	310,1028	17,5

Berdasarkan data yang diperoleh, nilai iradiasi matahari tertinggi tercatat pada pukul 11:15 dengan iradiasi sebesar 1094 W/m². Dari data tersebut dapat dianalisis bahwa adanya pengaruh iradiasi matahari dan kondisi cuaca terhadap arus yang dihasilkan oleh panel monokristalin. Diperoleh bahwa arus keluaran panel monokristalin sangat dipengaruhi oleh tingkat iradiasi, dimana peningkatan iradiasi akan diikuti oleh peningkatan arus yang dihasilkan, sementara nilai tegangannya cenderung berada pada kondisi yang relatif stabil. Selain itu suhu menunjukkan hubungan yang berbanding lurus dengan iradiasi, baik pada suhu permukaan panel maupun suhu lingkungan. Semakin besar iradiasi yang diterima, semakin besar pula energi yang diserap sehingga menyebabkan kenaikan suhu panel. Rata-rata daya keluaran maksimum panel monokristalin adalah sebesar 188,81 W, sedangkan panel bifasial mampu menghasilkan rata-rata yang lebih tinggi, yaitu sebesar 250,22 W.

Tabel 4. 9 Hasil Pengukuran Panel Monokristalin 02 Oktober 2025

No	Waktu	Iradiasi (W/m ²)	Panel Monokristalin		Suhu		Daya (W)	Efisiensi (%)
			Tegangan (V)	Arus (A)	TPV (°C)	TAM (°C)		
1	09.00	453,9	30,06	6,43	32,3	24	193,2858	16,5
2	09.15	321	28,86	4,37	35,2	33,5	126,1182	15,2
3	09.30	295,8	30,16	3,93	32,7	31	118,5288	15,5
4	09.45	937,4	29,24	11,89	43,6	37,2	347,6636	14,4
5	10.00	942,9	29,04	11,42	47,8	42,8	331,6368	13,6
6	10.15	422,7	28,54	5,74	46,2	44,7	163,8196	15

7	10.30	471,6	28,28	6,19	44,8	42,5	175,0532	14,4
8	10.45	450,7	28,54	6,02	44,7	42	171,8108	14,8
9	11.00	387,4	28,52	5,09	42,9	40	145,1668	14,5
10	11.15	422,9	28,52	5,79	43,1	39,4	165,1308	15,1
11	11.30	401	28,04	5,52	42,2	38,8	154,7808	15
12	11.45	498,7	28,42	6,77	43	39,2	192,4034	15
13	12.00	467,1	28,08	6,31	45,5	41,6	177,1848	14,7
14	12.15	472	27,96	6,46	44,4	40,8	180,6216	14,8
15	12.30	528,9	27,98	7,44	45	40,8	208,1712	15,3
16	12.45	638,2	28	8,79	48,4	43	246,12	15
17	13.00	698	28,48	9,43	51,4	46	268,5664	14,9
18	13.15	605,8	29,26	7,73	46,9	45,8	226,1798	14,5
19	13.30	404,4	29,08	5,46	46,7	44,6	158,7768	15,2
20	13.45	387,4	29,34	5,23	42,5	40,1	153,4482	15,4
21	14.00	398,2	29,08	5,27	40,6	37,7	153,2516	14,9
22	14.15	352,1	29,98	4,74	38,6	36,2	142,1052	15,7
23	14.30	335,3	30,18	4,27	39,6	37,1	128,8686	14,9

Tabel 4. 10 Hasil Pengukuran Panel Bifasial 02 Oktober 2025

No	Waktu	Iradiasi (W/m ²)	Panel Bifasial		Suhu		Daya (W)	Efisiensi (%)
			Tegangan (V)	Arus (A)	TPV (°C)	TAM (°C)		
1	09.00	453,9	38,92	5,89	32,3	24	229,2388	19,4
2	09.15	321	37,18	4,08	35,2	33,5	151,6944	18,1
3	09.30	295,8	38,78	3,65	32,7	31	141,547	18,4
4	09.45	937,4	40,66	9,58	43,6	37,2	389,5228	15,9
5	10.00	942,9	37,96	10,37	47,8	42,8	393,6452	16
6	10.15	422,7	36,34	5,58	46,2	44,7	202,7772	18,4
7	10.30	471,6	37,12	5,87	44,8	42,5	217,8944	17,7
8	10.45	450,7	36,34	5,83	44,7	42	211,8622	18
9	11.00	387,4	37,96	4,95	42,9	40	187,902	18,6
10	11.15	422,9	37,94	5,43	43,1	39,4	206,0142	18,7
11	11.30	401	38,54	5,2	42,2	38,8	200,408	19,2
12	11.45	498,7	37,9	6,29	43	39,2	238,391	18,3
13	12.00	467,1	36,92	6,12	45,5	41,6	225,9504	18,6
14	12.15	472	37,92	5,95	44,4	40,8	225,624	18,3
15	12.30	528,9	37,68	6,65	45	40,8	250,572	18,2
16	12.45	638,2	37,06	8,14	48,4	43	301,6684	18,1
17	13.00	698	37,82	8,77	51,4	46	331,6814	18,2
18	13.15	605,8	36,48	8,13	46,9	45,8	296,5824	18,8
19	13.30	404,4	37,12	5,74	46,7	44,6	213,0688	20,2
20	13.45	387,4	37,94	5,09	42,5	40,1	193,1146	19,1
21	14.00	398,2	38,1	5	40,6	37,7	190,5	18,4
22	14.15	352,1	38,42	4,37	38,6	36,2	167,8954	18,3
23	14.30	335,3	39,08	4,31	39,6	37,1	168,4348	19,3

Berdasarkan data yang diperoleh, nilai iradiasi matahari tertinggi tercatat pada pukul 10:00 dengan iradiasi sebesar 942,9 W/m². Dari data tersebut dapat dianalisis bahwa adanya pengaruh iradiasi matahari dan kondisi cuaca terhadap arus yang dihasilkan oleh panel monokristalin. Diperoleh bahwa arus keluaran panel monokristalin sangat dipengaruhi oleh tingkat iradiasi, dimana peningkatan iradiasi akan diikuti oleh peningkatan arus yang dihasilkan, sementara nilai tegangannya cenderung berada pada kondisi yang relatif stabil. Selain itu suhu menunjukkan hubungan yang berbanding lurus dengan iradiasi, baik pada suhu permukaan panel maupun suhu lingkungan. Semakin besar iradiasi yang diterima, semakin besar pula energi yang diserap sehingga menyebabkan kenaikan suhu panel. Rata-rata daya keluaran maksimum panel monokristalin adalah sebesar 188,2 W, sedangkan panel bifasial mampu menghasilkan rata-rata yang lebih tinggi, yaitu sebesar 231,99 W.

Tabel 4. 11 Hasil Pengukuran Panel Monokristalin 03 Oktober 2025

No	Waktu	Iradiasi (W/m ²)	Panel Monokristalin		Suhu		Daya (W)	Efisiensi (%)
			Tegangan (V)	Arus (A)	TPV (°C)	TAM (°C)		
1	09.00	301,1	29,22	4,11	42,2	38,8	120,0942	15,5
2	09.15	281,8	29,22	3,7	42	38,8	108,114	14,9
3	09.30	281,8	29,22	3,7	41,5	38,3	108,114	14,9
4	09.45	300,2	29,22	3,9	42,4	38,7	113,958	14,7
5	10.00	542,6	29,22	6,86	47,3	41,9	200,4492	14,3
6	10.15	477,7	29,22	5,83	49,6	45	170,3526	13,8
7	10.30	510,5	29,22	6,27	51,6	46,6	183,2094	13,9
8	10.45	542,8	29,34	6,66	54,6	49,6	195,4044	14
9	11.00	454	29,34	5,69	49,6	45,8	166,9446	14,3
10	11.15	430	29,34	5,49	48,1	44,5	161,0766	14,5
11	11.30	383,4	29,34	4,86	45,7	42,2	142,5924	14,4
12	11.45	517,1	29,34	6,49	49,2	44,4	190,4166	14,3
13	12.00	431,3	29,34	5,46	48	44,6	160,1964	14,4
14	12.15	403,4	29,34	5,26	46,2	42,8	154,3284	14,8
15	12.30	431,6	29,34	5,47	46,6	43,1	160,4898	14,4
16	12.45	539	29,34	6,7	50,8	46,1	196,578	14,1
17	13.00	500,3	29,34	6,28	52	47,6	184,2552	14,3
18	13.15	477,8	29,34	6,08	50	47,4	178,3872	14,5
19	13.30	387,3	29,34	5,67	47,5	45,1	166,3578	16,7
20	13.45	441,1	29,34	5,67	47	44,6	166,3578	14,6
21	14.00	394,5	29,34	5,06	46,3	43,5	148,4604	14,6
22	14.15	355,2	30,92	4,1	43,9	41	126,772	13,8
23	14.30	357,9	29,46	4,63	42,9	40	136,3998	14,8

Tabel 4. 12 Hasil Pengukuran Panel Bifasial 03 Oktober 2025

No	Waktu	Iradiasi (W/m ²)	Panel Bifasial		Suhu		Daya (W)	Efisiensi (%)
			Tegangan (V)	Arus (A)	TPV (°C)	TAM (°C)		
1	09.00	301,1	37,14	3,76	42,2	38,8	139,6464	17,8
2	09.15	281,8	37,16	3,56	42	38,8	132,2896	18
3	09.30	281,8	37,16	3,56	41,5	38,3	132,2896	18
4	09.45	300,2	37,12	3,97	42,4	38,7	147,3664	18,8
5	10.00	542,6	39,44	6,29	47,3	41,9	248,0776	17,5
6	10.15	477,7	37,06	6,03	49,6	45	223,4718	17,9
7	10.30	510,5	37,04	6,48	51,6	46,6	240,0192	18
8	10.45	542,8	36,26	7,17	54,6	49,6	259,9842	18,4
9	11.00	454	37,84	5,79	49,6	45,8	219,0936	18,5
10	11.15	430	37,88	5,52	48,1	44,5	209,0976	18,7
11	11.30	383,4	37,9	4,92	45,7	42,2	186,468	18,7
12	11.45	517,1	37,04	6,57	49,2	44,4	243,3528	18,1
13	12.00	431,3	37,08	5,64	48	44,6	209,1312	18,6
14	12.15	403,4	37,08	5,32	46,2	42,8	197,2656	18,8
15	12.30	431,6	37,08	5,59	46,6	43,1	207,2772	18,4
16	12.45	539	37,02	7,06	50,8	46,1	261,3612	18,6
17	13.00	500,3	37,02	6,6	52	47,6	244,332	18,7
18	13.15	477,8	37,04	6,21	50	47,4	230,0184	18,5
19	13.30	387,3	36,32	5,65	47,5	45,1	205,208	20,3
20	13.45	441,1	36,32	5,97	47	44,6	216,8304	18,9
21	14.00	394,5	37,08	5,22	46,3	43,5	193,5576	18,8
22	14.15	355,2	37,74	4,66	43,9	41	175,8684	19
23	14.30	357,9	38,5	4,66	42,9	40	179,41	19,2

Berdasarkan data yang diperoleh, nilai iradiasi matahari tertinggi tercatat pada pukul 10:45 dengan iradiasi sebesar 542,8 W/m². Dari data tersebut dapat dianalisis bahwa adanya pengaruh iradiasi matahari dan kondisi cuaca terhadap arus yang dihasilkan oleh panel monokristalin. Diperoleh bahwa arus keluaran panel monokristalin sangat dipengaruhi oleh tingkat iradiasi, dimana peningkatan iradiasi akan diikuti oleh peningkatan arus yang dihasilkan, sementara nilai tegangannya cenderung berada pada kondisi yang relatif stabil. Selain itu suhu menunjukkan hubungan yang berbanding lurus dengan iradiasi, baik pada suhu permukaan panel maupun suhu lingkungan. Semakin besar iradiasi yang diterima, semakin besar pula energi yang diserap sehingga menyebabkan kenaikan suhu panel. Rata-rata daya keluaran maksimum panel monokristalin adalah sebesar 158,23 W, sedangkan panel bifasial mampu menghasilkan rata-rata yang lebih tinggi, yaitu sebesar 204,4 W.

Tabel 4. 13 Hasil Pengukuran Panel Monokristalin 04 Oktober 2025

No	Waktu	Iradiasi (W/m ²)	Panel Monokristalin		Suhu		Daya (W)	Efisiensi (%)
			Tegangan (V)	Arus (A)	TPV (°C)	TAM (°C)		
1	09.00	663,5	30,14	6,94	50,3	44,8	209,1716	12,27
2	09.15	675,5	29	7,9	54,1	47,4	229,1	13,20
3	09.30	742,3	28,22	8,62	54,2	47,4	243,2564	12,75
4	09.45	709	27,64	9,39	53	47,2	259,5396	14,24
5	10.00	729,1	27,62	9,56	46,4	43,7	264,0472	14,09
6	10.15	761,2	27,62	10,11	47,5	44,2	279,2382	14,27
7	10.30	807,8	28,86	9,79	41,3	38,8	282,5394	13,61
8	10.45	795,5	27,66	10,48	54,1	47,6	289,8768	14,18
9	11.00	740	27,62	9,8	56,9	49,6	270,676	14,23
10	11.15	722,9	27,62	9,78	58,2	51,7	270,1236	14,54
11	11.30	789,8	27,64	10,62	58,2	51,7	293,5368	14,46
12	11.45	750,2	27,62	10,12	55,6	51,6	279,5144	14,50
13	12.00	766,2	27,66	10,23	48,4	46,3	282,9618	14,37
14	12.15	753	28,84	9,35	51,7	46,5	269,654	13,93
15	12.30	675,8	28,84	8,54	52,1	46,2	246,2936	14,18
16	12.45	778,9	28,84	9,57	50,1	45,4	275,9988	13,79
17	13.00	747,2	28,86	9,33	49,3	44,8	269,2638	14,02
18	13.15	749,2	31,26	6,95	52,9	47	217,257	11,28
19	13.30	544,1	29,68	6,53	49,5	46,5	193,8104	13,86
20	13.45	666,4	36,04	4,66	43,3	41,1	167,9464	9,81
21	14.00	590,2	32,94	5,17	41,5	39	170,2998	11,23
22	14.15	586,7	34,46	4,9	42,6	39,7	168,854	11,20
23	14.30	399,3	33,62	4,35	43,1	40,6	146,247	14,25

Tabel 4. 14 Hasil Pengukuran Panel Bifasial 04 Oktober 2025

No	Waktu	Iradiasi (W/m ²)	Panel Bifasial		Suhu		Daya (W)	Efisiensi (%)
			Tegangan (V)	Arus (A)	TPV (°C)	TAM (°C)		
1	09.00	663,5	37,7	6,37	50,3	44,8	240,149	13,92
2	09.15	675,5	36,08	6,57	54,1	47,4	237,0456	13,50
3	09.30	742,3	36	7,46	54,2	47,4	268,56	13,92
4	09.45	709	31,24	8,82	53	47,2	275,5368	14,95
5	10.00	729,1	34,46	9,08	46,4	43,7	312,8968	16,51
6	10.15	761,2	36,04	9,75	47,5	44,2	351,39	17,75
7	10.30	807,8	36,02	10,29	41,3	38,8	370,6458	17,65
8	10.45	795,5	36,02	9,93	54,1	47,6	357,6786	17,29
9	11.00	740	36,82	9,16	56,9	49,6	337,2712	17,53
10	11.15	722,9	36,04	9,3	58,2	51,7	335,172	17,83
11	11.30	789,8	38,8	9,93	58,2	51,7	385,284	18,76
12	11.45	750,2	36,82	9,52	55,6	51,6	350,5264	17,97
13	12.00	766,2	36,82	9,65	48,4	46,3	355,313	17,84

14	12.15	753	36,82	9,5	51,7	46,5	349,79	17,87
15	12.30	675,8	37,64	8,6	52,1	46,2	323,704	18,42
16	12.45	778,9	36,8	10,02	50,1	45,4	368,736	18,21
17	13.00	747,2	36,82	9,64	49,3	44,8	354,9448	18,27
18	13.15	749,2	37,6	9,2	52,9	47	345,92	17,76
19	13.30	544,1	36,86	9,16	49,5	46,5	337,6376	23,87
20	13.45	666,4	37,6	8,5	43,3	41,1	319,6	18,45
21	14.00	590,2	38,4	7,94	41,5	39	304,896	19,87
22	14.15	586,7	37,64	7,53	42,6	39,7	283,4292	18,58
23	14.30	399,3	39,28	5,52	43,1	40,6	216,8256	20,89

Berdasarkan data yang diperoleh, nilai iradiasi matahari tertinggi tercatat pada pukul 11:30 dengan iradiasi sebesar 901,7 W/m². Dari data tersebut dapat dianalisis bahwa adanya pengaruh iradiasi matahari dan kondisi cuaca terhadap arus yang dihasilkan oleh panel monokristalin. Diperoleh bahwa arus keluaran panel monokristalin sangat dipengaruhi oleh tingkat iradiasi, dimana peningkatan iradiasi akan diikuti oleh peningkatan arus yang dihasilkan, sementara nilai tegangannya cenderung berada pada kondisi yang relatif stabil. Selain itu suhu menunjukkan hubungan yang berbanding lurus dengan iradiasi, baik pada suhu permukaan panel maupun suhu lingkungan. Semakin besar iradiasi yang diterima, semakin besar pula energi yang diserap sehingga menyebabkan kenaikan suhu panel. Rata-rata daya keluaran maksimum panel monokristalin adalah sebesar 242,57 W, sedangkan panel bifasial mampu menghasilkan rata-rata yang lebih tinggi, yaitu sebesar 320,99 W.

Tabel 4. 15 Hasil Pengukuran Panel Monokristalin 05 Oktober 2025

No	Waktu	Iradiasi (W/m ²)	Panel Monokristalin		Suhu		Daya (W)	Efisiensi (%)
			Tegangan (V)	Arus (A)	TPV (°C)	TAM (°C)		
1	09.00	578,8	28	7,85	51,3	45,3	219,8	14,7
2	09.15	601,9	28	7,99	53	47,1	223,72	14,4
3	09.30	650,3	28,72	8,17	54,7	48,6	234,6424	14
4	09.45	307,5	28,8	4,02	47,4	45	115,776	14,6
5	10.00	673,4	27,96	9,04	53,5	47,6	252,7584	14,6
6	10.15	749,9	28,7	9,56	52,8	47,1	274,372	14,2
7	10.30	785,4	28,7	9,6	56,6	50	275,52	13,6
8	10.45	806,3	27,94	10,23	59,7	53,3	285,8262	13,7
9	11.00	822,7	28,7	9,77	57,8	51,8	280,399	13,2
10	11.15	835,4	27,94	10,65	58,6	52,5	297,561	13,8
11	11.30	814,7	28,7	9,76	57,6	52	280,112	13,3
12	11.45	873,4	27,9	11,12	57,5	51,2	310,248	13,8
13	12.00	846,5	28,68	10,2	57,1	51,2	292,536	13,4

14	12.15	834,5	27,9	10,81	55,8	50,1	301,599	14
15	12.30	819	27,92	10,77	54,9	49	300,6984	14,2
16	12.45	798,1	28,68	10,05	53,4	47,7	288,234	14
17	13.00	769,4	27,92	10,23	52,9	47,7	285,6216	14,4
18	13.15	754,7	30,66	7,45	52,4	47,7	228,417	11,7
19	13.30	634,6	28	7,44	52,5	48,6	208,32	12,7
20	13.45	597,7	32,32	6,09	47,4	46,6	196,8288	12,8
21	14.00	571,8	31,5	6,21	47,4	44,3	195,615	13,3
22	14.15	391,1	29,2	5,17	42,1	40	150,964	15
23	14.30	394,3	30,74	5	42,9	40,3	153,7	15,1

Tabel 4. 16 Hasil Pengukuran Panel Bifasial 05 Oktober 2025

No	Waktu	Iradiasi (W/m ²)	Panel Bifasial		Suhu		Daya (W)	Efisiensi (%)
			Tegangan (V)	Arus (A)	TPV (°C)	TAM (°C)		
1	09.00	578,8	39,56	6,06	51,3	45,3	239,7336	15,9
2	09.15	601,9	37,46	6,43	53	47,1	240,8678	15,3
3	09.30	650,3	34,78	7,38	54,7	48,6	256,6764	15,1
4	09.45	307,5	36,26	3,96	47,4	45	143,5896	17,9
5	10.00	673,4	38,8	7,19	53,5	47,6	278,972	15,9
6	10.15	749,9	37,24	9,49	52,8	47,1	353,4076	18,1
7	10.30	785,4	36,74	9,88	56,6	50	362,9912	17,7
8	10.45	806,3	35,64	10,18	59,7	53,3	362,8152	17,3
9	11.00	822,7	35,94	10,37	57,8	51,8	372,6978	17,4
10	11.15	835,4	35,96	10,48	58,6	52,5	376,8608	17,3
11	11.30	814,7	36,98	9,98	57,6	52	369,0604	17,4
12	11.45	873,4	36,78	10,84	57,5	51,2	398,6952	17,5
13	12.00	846,5	36,48	10,67	57,1	51,2	389,2416	17,6
14	12.15	834,5	35,96	10,54	55,8	50,1	379,0184	17,4
15	12.30	819	36,16	10,37	54,9	49	374,9792	17,6
16	12.45	798,1	36,46	10,15	53,4	47,7	370,069	17,8
17	13.00	769,4	36,14	9,84	52,9	47,7	355,6176	17,7
18	13.15	754,7	36,44	9,56	52,4	47,7	348,3664	17,7
19	13.30	634,6	37,18	8,99	52,5	48,6	334,2482	20,2
20	13.45	597,7	37,72	7,72	47,4	46,6	291,1984	18,7
21	14.00	571,8	37,18	7,56	47,4	44,3	281,0808	18,9
22	14.15	391,1	37,92	5,09	42,1	40	193,0128	18,9
23	14.30	394,3	38,74	5,23	42,9	40,3	202,6102	19,7

Berdasarkan data yang diperoleh, nilai iradiasi matahari tertinggi tercatat pada pukul 11:45 dengan iradiasi sebesar 873,4 W/m². Dari data tersebut dapat dianalisis bahwa adanya pengaruh iradiasi matahari dan kondisi cuaca terhadap arus yang dihasilkan oleh panel monokristalin. Diperoleh bahwa arus keluaran panel monokristalin

sangat dipengaruhi oleh tingkat iradiasi, dimana peningkatan iradiasi akan diikuti oleh peningkatan arus yang dihasilkan, sementara nilai tegangannya cenderung berada pada kondisi yang relatif stabil. Selain itu suhu menunjukkan hubungan yang berbanding lurus dengan iradiasi, baik pada suhu permukaan panel maupun suhu lingkungan. Semakin besar iradiasi yang diterima, semakin besar pula energi yang diserap sehingga menyebabkan kenaikan suhu panel. Rata-rata daya keluaran maksimum panel monokristalin adalah sebesar 245,79 W, sedangkan panel bifasial mampu menghasilkan rata-rata yang lebih tinggi, yaitu sebesar 316,33 W.

Tabel 4. 17 Hasil Pengukuran Panel Monokristalin 06 Oktober 2025

No	Waktu	Iradiasi (W/m ²)	Panel Monokristalin		Suhu		Daya (W)	Efisiensi (%)
			Tegangan (V)	Arus (A)	TPV (°C)	TAM (°C)		
1	09.00	648,1	28,3	8,72	50,3	44,8	246,776	14,8
2	09.15	286,9	29	4,28	54,1	47,4	124,12	16,8
3	09.30	767,2	27,66	10	54,2	47,4	276,6	14
4	09.45	228,5	26,92	3,12	53	47,2	83,9904	14,3
5	10.00	297,6	29,18	3,75	46,4	43,7	109,425	14,3
6	10.15	243,5	29,18	3,15	47,5	44,2	91,917	14,6
7	10.30	316,2	28,84	4,28	41,3	38,8	123,4352	15,1
8	10.45	243,6	27,9	3,08	54,1	47,6	85,932	13,7
9	11.00	879,7	28,76	10,56	56,9	49,6	303,7056	13,4
10	11.15	895,7	28,48	10,85	58,2	51,7	309,008	13,4
11	11.30	901,7	28,9	10,58	58,2	51,7	305,762	13,1
12	11.45	319,3	26,78	4,35	55,6	51,6	116,493	14,1
13	12.00	358,2	27,9	4,85	48,4	46,3	135,315	14,6
14	12.15	699,4	28,7	9,01	51,7	46,5	258,587	14,3
15	12.30	815,6	28,68	10,3	52,1	46,2	295,404	14
16	12.45	470,8	28,72	6,04	50,1	45,4	173,4688	14,3
17	13.00	659,9	27,48	9,05	49,3	44,8	248,694	14,6
18	13.15	773,6	29,54	9	52,9	47	265,86	13,3
19	13.30	420,5	28,04	5,9	49,5	46,5	165,436	15,3
20	13.45	356	27,4	5,17	43,3	41,1	141,658	15,4
21	14.00	335,1	28,34	4,83	41,5	39	136,8822	15,8
22	14.15	333,9	28,74	4,56	42,6	39,7	131,0544	15,2
23	14.30	304,1	28,32	4,23	43,1	40,6	119,7936	15,3

Tabel 4. 18 Hasil Pengukuran Panel Bifasial 06 Oktober 2025

No	Waktu	Iradiasi (W/m ²)	Panel Bifasial		Suhu		Daya (W)	Efisiensi (%)
			Tegangan (V)	Arus (A)	TPV (°C)	TAM (°C)		
1	09.00	648,1	40,58	6,25	50,3	44,8	253,625	15
2	09.15	286,9	38,28	3,85	54,1	47,4	147,378	19,7

3	09.30	767,2	35,32	8,53	54,2	47,4	301,2796	15,1
4	09.45	228,5	36,9	2,89	53	47,2	106,641	17,9
5	10.00	297,6	37,54	3,72	46,4	43,7	139,6488	18
6	10.15	243,5	36,7	3,13	47,5	44,2	114,871	18,1
7	10.30	316,2	39,12	3,84	41,3	38,8	150,2208	18,2
8	10.45	243,6	35,22	3,1	54,1	47,6	109,182	17,2
9	11.00	879,7	36,12	10,81	56,9	49,6	390,4572	17
10	11.15	895,7	36,68	11,15	58,2	51,7	408,982	17,5
11	11.30	901,7	35,28	11,37	58,2	51,7	401,1336	17,1
12	11.45	319,3	36,04	4,01	55,6	51,6	144,5204	17,4
13	12.00	358,2	36,24	4,66	48,4	46,3	168,8784	18,1
14	12.15	699,4	36,94	9,02	51,7	46,5	333,1988	18,3
15	12.30	815,6	36,24	10,33	52,1	46,2	374,3592	17,6
16	12.45	470,8	35,18	6,11	50,1	45,4	214,9498	17,5
17	13.00	659,9	36,14	8,5	49,3	44,8	307,19	17,9
18	13.15	773,6	36,96	10	52,9	47	369,6	18,3
19	13.30	420,5	36,06	5,67	49,5	46,5	204,4602	18,7
20	13.45	356	37,56	4,84	43,3	41,1	181,7904	19,6
21	14.00	335,1	37,58	4,42	41,5	39	166,1036	19
22	14.15	333,9	37,08	4,43	42,6	39,7	164,2644	18,9
23	14.30	304,1	37,14	3,96	43,1	40,6	147,0744	18,6

Berdasarkan data yang diperoleh, nilai iradiasi matahari tertinggi tercatat pada pukul 11:30 dengan iradiasi sebesar 901,7 W/m². Dari data tersebut dapat dianalisis bahwa adanya pengaruh iradiasi matahari dan kondisi cuaca terhadap arus yang dihasilkan oleh panel monokristalin. Diperoleh bahwa arus keluaran panel monokristalin sangat dipengaruhi oleh tingkat iradiasi, dimana peningkatan iradiasi akan diikuti oleh peningkatan arus yang dihasilkan, sementara nilai tegangannya cenderung berada pada kondisi yang relatif stabil. Selain itu suhu menunjukkan hubungan yang berbanding lurus dengan iradiasi, baik pada suhu permukaan panel maupun suhu lingkungan. Semakin besar iradiasi yang diterima, semakin besar pula energi yang diserap sehingga menyebabkan kenaikan suhu panel. Rata-rata daya keluaran maksimum panel monokristalin adalah sebesar 184,75 W, sedangkan panel bifasial mampu menghasilkan rata-rata yang lebih tinggi, yaitu sebesar 230,42 W.

Tabel 4. 19 Hasil Pengukuran Panel Monokristalin 07 Oktober 2025

No	Waktu	Iradiasi (W/m ²)	Panel Monokristalin		Suhu		Daya (W)	Efisiensi (%)
			Tegangan (V)	Arus (A)	TPV (°C)	TAM (°C)		
1	09.00	686,9	28,66	9,38	46	42	268,8308	15,2

2	09.15	657,6	28,02	8,39	50,9	45,8	235,0878	13,9
3	09.30	132,6	28,02	1,77	43,3	41,4	49,5954	14,5
4	09.45	179,4	27,96	2,48	41,2	39,3	69,3408	15
5	10.00	359,2	29,08	4,68	46,8	42,1	136,0944	14,7
6	10.15	722,7	29,04	9,14	53,7	46,5	265,4256	14,2
7	10.30	98,6	37,5	0,92	38,9	38,1	34,5	13,6
8	10.45	584,8	27,6	8,33	48	41,7	229,908	15,2
9	11.00	279,1	27,76	3,88	44,5	42	107,7088	15
10	11.15	350,8	29,2	4,43	41,9	38,9	129,356	14,3
11	11.30	114,8	29,28	1,61	37,8	36,6	47,1408	15,9
12	11.45	228	28,6	3,04	33,7	32	86,944	14,8
13	12.00	369,1	29,32	4,93	37,1	34,2	144,5476	15,2
14	12.15	285,5	28,56	3,72	37,8	35,4	106,2432	14,4
15	12.30	157,2	27,86	2,08	33,7	32,6	57,9488	14,3
16	12.45	188,6	27,88	2,7	33,2	31,6	75,276	15,5
17	13.00	148,2	29,36	1,92	31,8	30,7	56,3712	14,8
18	13.15	248,1	28,6	3,36	34,7	32,5	96,096	15
19	13.30	213,9	28,6	2,95	35,5	33,6	84,37	15,3
20	13.45	552,6	27,86	7,45	41,3	37,4	207,557	14,6
21	14.00	361	29,26	5	42	39,4	146,3	15,7
22	14.15	488,1	27,68	6,7	46,6	42,3	185,456	14,7
23	14.30	360,2	28,46	5,33	43,4	40,7	151,6918	16,3

Tabel 4. 20 Hasil Pengukuran Panel Bifasial 07 Oktober 2025

No	Waktu	Iradiasi (W/m ²)	Panel Bifasial		Suhu		Daya (W)	Efisiensi (%)
			Tegangan (V)	Arus (A)	TPV (°C)	TAM (°C)		
1	09.00	686,9	38,86	6,86	46	42	266,5796	14,9
2	09.15	657,6	36,4	6,59	50,9	45,8	239,876	14
3	09.30	132,6	37,7	1,77	43,3	41,4	66,729	19,3
4	09.45	179,4	37,82	2,24	41,2	39,3	84,7168	18,1
5	10.00	359,2	37,98	4,54	46,8	42,1	172,4292	18,4
6	10.15	722,7	37,24	9,22	53,7	46,5	343,3528	18,2
7	10.30	98,6	37,56	1,29	38,9	38,1	48,4524	18,9
8	10.45	584,8	37,26	7,87	48	41,7	293,2362	19,2
9	11.00	279,1	37,08	3,73	44,5	42	138,3084	19
10	11.15	350,8	38,78	4,26	41,9	38,9	165,2028	18,1
11	11.30	114,8	36,88	1,64	37,8	36,6	60,4832	20,2
12	11.45	228	38,68	2,7	33,7	32	104,436	17,6
13	12.00	369,1	39,58	4,4	37,1	34,2	174,152	18,1
14	12.15	285,5	37,9	3,57	37,8	35,4	135,303	18,2
15	12.30	157,2	37,82	1,77	33,7	32,6	66,9414	16,3
16	12.45	188,6	38,64	2,42	33,2	31,6	93,5088	19
17	13.00	148,2	39,36	1,68	31,8	30,7	66,1248	17,1

18	13.15	248,1	38,68	2,92	34,7	32,5	112,9456	17,5
19	13.30	213,9	38,66	2,52	35,5	33,6	97,4232	17,5
20	13.45	552,6	38,02	6,84	41,3	37,4	260,0568	18,1
21	14.00	361	37,22	4,58	42	39,4	170,4676	18,1
22	14.15	488,1	37,2	6,64	46,6	42,3	247,008	19,4
23	14.30	360,2	37,98	5,02	43,4	40,7	190,6596	20,3

Berdasarkan data yang diperoleh, nilai iradiasi matahari tertinggi tercatat pada pukul 10:15 dengan iradiasi sebesar 722,7 W/m². Dari data tersebut dapat dianalisis bahwa adanya pengaruh iradiasi matahari dan kondisi cuaca terhadap arus yang dihasilkan oleh panel monokristalin. Diperoleh bahwa arus keluaran panel monokristalin sangat dipengaruhi oleh tingkat iradiasi, dimana peningkatan iradiasi akan diikuti oleh peningkatan arus yang dihasilkan, sementara nilai tegangannya cenderung berada pada kondisi yang relatif stabil. Selain itu suhu menunjukkan hubungan yang berbanding lurus dengan iradiasi, baik pada suhu permukaan panel maupun suhu lingkungan. Semakin besar iradiasi yang diterima, semakin besar pula energi yang diserap sehingga menyebabkan kenaikan suhu panel. Rata-rata daya keluaran maksimum panel monokristalin adalah sebesar 129,2 W, sedangkan panel bifasial mampu menghasilkan rata-rata yang lebih tinggi, yaitu sebesar 156,45 W.

Tabel 4. 21 Hasil Pengukuran Panel Monokristalin 08 Oktober 2025

No	Waktu	Iradiasi (W/m ²)	Panel Monokristalin		Suhu		Daya (W)	Efisiensi (%)
			Tegangan (V)	Arus (A)	TPV (°C)	TAM (°C)		
1	09.00	599,1	29,96	6,75	52,3	46,9	202,23	13,1
2	09.15	625,8	28,62	8,02	52,5	47,1	229,5324	14,2
3	09.30	660,1	28,62	8,33	54,1	44,3	238,4046	14
4	09.45	723,1	28,66	8,85	57	51,2	253,641	13,6
5	10.00	743,2	27,46	10,09	59,3	53,1	277,0714	14,5
6	10.15	812,9	27,52	10,38	61,2	54,3	285,6576	13,6
7	10.30	827,9	28,86	9,82	57,2	51,5	283,4052	13,3
8	10.45	816,6	28,84	9,31	62,4	55,3	268,5004	12,7
9	11.00	742,9	28,88	9,33	52,4	47,4	269,4504	14,1
10	11.15	297	28,84	3,77	49,8	46,8	108,7268	14,2
11	11.30	713,3	28,22	9,42	49,1	44	265,8324	14,5
12	11.45	825,4	29,64	9,02	55,8	49,8	267,3528	12,6
13	12.00	796,3	28,36	10,17	54,8	49,3	288,4212	14
14	12.15	761,5	29,62	8,57	55,8	50,3	253,8434	12,9
15	12.30	754,7	28,34	9,61	55	49,7	272,3474	14
16	12.45	697,8	28,3	9,08	53,7	48,8	256,964	14,3
17	13.00	766	29,64	8,15	53,3	48,2	241,566	12,2

18	13.15	658,3	28,26	7,98	51,9	47,5	225,5148	13,3
19	13.30	617,9	28,22	7,92	50,4	46,8	223,5024	14
20	13.45	600	29,66	7,17	47,9	46,7	212,6622	13,7
21	14.00	550,4	28,94	6,91	48,5	45,4	26,3354	14,3
22	14.15	514,5	28,9	6,42	47,9	44,5	185,538	14
23	14.30	466,4	28,98	5,89	45	42,6	170,6922	14,2

Tabel 4. 22 Hasil Pengukuran Panel Bifasial 08 Oktober 2025

No	Waktu	Iradiasi (W/m ²)	Panel Bifasial		Suhu		Daya (W)	Efisiensi (%)
			Tegangan (V)	Arus (A)	TPV (°C)	TAM (°C)		
1	09.00	599,1	39,46	5,57	52,3	46,9	219,7922	14,1
2	09.15	625,8	38,66	6,18	52,5	47,1	238,9188	14,6
3	09.30	660,1	34,66	7,29	54,1	44,3	252,6714	14,7
4	09.45	723,1	32,24	8,71	57	51,2	280,8104	14,9
5	10.00	743,2	33,26	9,56	59,3	53,1	317,9656	16,4
6	10.15	812,9	34,6	10,46	61,2	54,3	361,916	17,1
7	10.30	827,9	35,6	10,32	57,2	51,5	367,392	17
8	10.45	816,6	35,4	10,24	62,4	55,3	362,496	17
9	11.00	742,9	36,42	9,69	52,4	47,4	352,9098	18,2
10	11.15	297	36,58	3,89	49,8	46,8	142,2962	18,4
11	11.30	713,3	36,8	9,09	49,1	44	334,512	18
12	11.45	825,4	36,18	10,39	55,8	49,8	375,9102	17,5
13	12.00	796,3	36,18	10,07	54,8	49,3	364,3326	17,5
14	12.15	761,5	36,2	9,54	55,8	50,3	345,348	17,4
15	12.30	754,7	35,98	9,54	55	49,7	343,2492	17,4
16	12.45	697,8	36,22	8,88	53,7	48,8	321,6336	17,2
17	13.00	766	37,02	8,91	53,3	48,2	329,8482	16,5
18	13.15	658,3	36,48	8,29	51,9	47,5	302,4192	17,6
19	13.30	617,9	36,26	8,02	50,4	46,8	290,8052	18,1
20	13.45	600	37,06	7,74	47,9	46,7	286,8444	18,3
21	14.00	550,4	36,5	7,45	48,5	45,4	271,925	19
22	14.15	514,5	37,88	6,67	47,9	44,5	252,6596	18,8
23	14.30	466,4	37,9	6,07	45	42,6	230,053	18,9

Berdasarkan data yang diperoleh, nilai iradiasi matahari tertinggi tercatat pada pukul 10:30 dengan iradiasi sebesar 827,9 W/m². Dari data tersebut dapat dianalisis bahwa adanya pengaruh iradiasi matahari dan kondisi cuaca terhadap arus yang dihasilkan oleh panel monokristalin. Diperoleh bahwa arus keluaran panel monokristalin sangat dipengaruhi oleh tingkat iradiasi, dimana peningkatan iradiasi akan diikuti oleh peningkatan arus yang dihasilkan, sementara nilai tegangannya cenderung berada pada kondisi yang relatif stabil. Selain itu suhu menunjukkan hubungan yang berbanding lurus

dengan iradiasi, baik pada suhu permukaan panel maupun suhu lingkungan. Semakin besar iradiasi yang diterima, semakin besar pula energi yang diserap sehingga menyebabkan kenaikan suhu panel. Rata-rata daya keluaran maksimum panel monokristalin adalah sebesar 238,29 W, sedangkan panel bifasial mampu menghasilkan rata-rata yang lebih tinggi, yaitu sebesar 302,03 W.

Tabel 4. 23 Hasil Pengukuran Panel Monokristalin 09 Oktober 2025

No	Waktu	Iradiasi (W/m ²)	Panel Monokristalin		Suhu		Daya (W)	Efisiensi (%)
			Tegangan (V)	Arus (A)	TPV (°C)	TAM (°C)		
1	09.00	564,9	28,8	6,92	53,2	47,8	199,296	13,7
2	09.15	696,2	28,8	8,58	56	49,4	247,104	13,8
3	09.30	749,5	28,8	8,95	56,2	50	257,76	13,3
4	09.45	729,8	29,18	8,52	53,5	48,1	248,6136	13,2
5	10.00	749,1	29,18	8,55	54,8	48,9	249,489	12,9
6	10.15	763,2	29,18	8,65	56,2	50,7	252,407	12,8
7	10.30	782,4	29,18	8,92	54,7	49,1	260,2856	12,9
8	10.45	797,7	28,32	9,96	55,8	49,7	282,0672	13,7
9	11.00	816,2	28,32	9,96	57,5	50,9	282,0672	13,4
10	11.15	819,3	28,32	9,95	57,5	52	281,784	13,3
11	11.30	820,3	28,32	10,18	58,2	52,3	288,2976	13,6
12	11.45	826,6	28,32	10,22	57,7	51,6	289,4304	13,6
13	12.00	819,7	28,32	10,04	58,1	52,1	284,3328	13,4
14	12.15	809	28,32	9,83	59	53,3	278,3856	13,3
15	12.30	784,7	28,32	9,83	57,8	52,3	278,3856	13,8
16	12.45	784,1	28,32	9,79	57	51,6	277,2528	13,7
17	13.00	783	28,32	9,58	56,2	50,8	271,3056	13,4
18	13.15	697	28,32	8,98	53,5	49,6	254,3136	14,1
19	13.30	674,3	27,9	8,56	52,8	48,2	238,824	13,7
20	13.45	637,8	29,12	7,86	49,1	47,7	228,8832	13,9
21	14.00	558,1	29,12	6,97	50,3	46,9	202,9664	14,1
22	14.15	551,8	30,3	6,17	49,6	46,3	186,951	13,1
23	14.30	420,4	28,64	5,93	46,6	45,5	169,8352	15,7

Tabel 4. 24 Hasil Pengukuran Panel Bifasial 09 Oktober 2025

No	Waktu	Iradiasi (W/m ²)	Panel Bifasial		Suhu		Daya (W)	Efisiensi (%)
			Tegangan (V)	Arus (A)	TPV (°C)	TAM (°C)		
1	09.00	564,9	37,6	5,7	53,2	47,8	214,32	14,5
2	09.15	696,2	39,44	6,95	56	49,4	274,108	15,1
3	09.30	749,5	34,94	8,13	56,2	50	284,0622	14,5
4	09.45	729,8	40,5	6,6	53,5	48,1	267,3	14
5	10.00	749,1	34,12	9,29	54,8	48,9	316,9748	16,2
6	10.15	763,2	36,72	9,45	56,2	50,7	347,004	17,4

7	10.30	782,4	37	9,74	54,7	49,1	360,38	17,7
8	10.45	797,7	36,2	10,16	55,8	49,7	367,792	17,7
9	11.00	816,2	36,2	10,27	57,5	50,9	371,774	17,5
10	11.15	819,3	36,18	10,23	57,5	52	370,1214	17,3
11	11.30	820,3	36,18	10,25	58,2	52,3	370,845	17,3
12	11.45	826,6	36,18	10,34	57,7	51,6	374,1012	17,4
13	12.00	819,7	36,18	10,28	58,1	52,1	371,9304	17,4
14	12.15	809	35,7	10,12	59	53,3	361,284	17,1
15	12.30	784,7	35,4	9,89	57,8	52,3	350,106	17,1
16	12.45	784,1	37	9,69	57	51,6	358,53	17,5
17	13.00	783	36,2	9,82	56,2	50,8	355,484	17,4
18	13.15	697	37,32	8,68	53,5	49,6	323,9376	17,8
19	13.30	674,3	37,04	8,56	52,8	48,2	317,0624	18
20	13.45	637,8	37,34	8,12	49,1	47,7	303,2008	18,2
21	14.00	558,1	37,06	7,49	50,3	46,9	277,5794	19,1
22	14.15	551,8	37,08	7,01	49,6	46,3	259,9308	18,1
23	14.30	420,4	36,32	6,26	46,6	45,5	227,3632	20,8

Berdasarkan data yang diperoleh, nilai iradiasi matahari tertinggi tercatat pada pukul 11:45 dengan iradiasi sebesar 826,6 W/m². Dari data tersebut dapat dianalisis bahwa adanya pengaruh iradiasi matahari dan kondisi cuaca terhadap arus yang dihasilkan oleh panel monokristalin. Diperoleh bahwa arus keluaran panel monokristalin sangat dipengaruhi oleh tingkat iradiasi, dimana peningkatan iradiasi akan diikuti oleh peningkatan arus yang dihasilkan, sementara nilai tegangannya cenderung berada pada kondisi yang relatif stabil. Selain itu suhu menunjukkan hubungan yang berbanding lurus dengan iradiasi, baik pada suhu permukaan panel maupun suhu lingkungan. Semakin besar iradiasi yang diterima, semakin besar pula energi yang diserap sehingga menyebabkan kenaikan suhu panel. Rata-rata daya keluaran maksimum panel monokristalin adalah sebesar 252,61 W, sedangkan panel bifasial mampu menghasilkan rata-rata yang lebih tinggi, yaitu sebesar 322,83 W.

Tabel 4. 25 Hasil Pengukuran Panel Monokristalin 10 Oktober 2025

No	Waktu	Iradiasi (W/m ²)	Panel Monokristalin		Suhu		Daya (W)	Efisiensi (%)
			Tegangan (V)	Arus (A)	TPV (°C)	TAM (°C)		
1	09.00	606,4	29,6	7,05	52,9	47,4	208,68	13,3
2	09.15	650,5	29,62	7,26	54,7	48,4	215,0412	12,8
3	09.30	653,2	29,62	7,39	52,3	48,2	218,8918	13
4	09.45	286,9	28	3,79	52,2	48,7	106,12	14,3
5	10.00	642	28,82	7,51	49,6	44,5	216,4382	13,1
6	10.15	771,9	28,44	9,62	53,8	47,2	273,5928	13,7

7	10.30	619,2	28,42	7,85	51,8	47,8	223,097	14
8	10.45	785	28,46	9,99	52,8	47	284,3154	13
9	11.00	802,4	28,04	10,39	56,4	50,1	291,3356	14
10	11.15	832,2	28,68	10,03	56,5	50,4	287,6604	13,4
11	11.30	833,1	28,06	10,5	56,2	50,2	294,63	13,7
12	11.45	847,9	28,7	10,12	55,8	49,9	290,444	13,3
13	12.00	854,1	28,7	10,15	56,3	50,2	291,305	13,2
14	12.15	837,6	28,06	10,47	57,2	51,4	293,7882	13,6
15	12.30	843,2	28,7	10,06	56,1	50,6	288,722	13,3
16	12.45	494,8	27,98	6,98	53,2	49,3	195,3004	15,3
17	13.00	162,9	27,92	2,18	40,2	39,8	60,8656	14,5
18	13.15	214,9	28,74	2,78	38,7	36,6	79,8972	14,4
19	13.30	312,1	28,96	4,31	40,7	37,9	124,8176	15,5
20	13.45	794,7	28,48	10,06	51	47,7	286,5088	14
21	14.00	754,3	28,44	8,94	51,1	45,8	254,2536	13,1
22	14.15	684,3	29,96	7,58	50,5	47	227,0968	12,9
23	14.30	502,6	28,92	7,55	50,5	47,3	218,346	16,9

Tabel 4. 26 Hasil Pengukuran Panel Bifasial 10 Oktober 2025

No	Waktu	Iradiasi (W/m ²)	Panel Bifasial		Suhu		Daya (W)	Efisiensi (%)
			Tegangan (V)	Arus (A)	TPV (°C)	TAM (°C)		
1	09.00	606,4	38,66	5,39	52,9	47,4	208,3774	13,2
2	09.15	650,5	38,66	6,04	54,7	48,4	233,5064	13,8
3	09.30	653,2	35,66	7,81	52,3	48,2	278,5046	16,3
4	09.45	286,9	35,8	3,72	52,2	48,7	133,176	17,8
5	10.00	642	38,66	6,8	49,6	44,5	262,888	15,7
6	10.15	771,9	37,56	9,36	53,8	47,2	351,5616	17,5
7	10.30	619,2	37,02	7,79	51,8	47,8	288,3858	17,9
8	10.45	785	36,2	9,82	52,8	47	355,484	17,4
9	11.00	802,4	36,18	10,24	56,4	50,1	370,4832	17,7
10	11.15	832,2	35,38	10,5	56,5	50,4	371,49	17,1
11	11.30	833,1	35,94	10,39	56,2	50,2	373,4166	17,2
12	11.45	847,9	36,18	10,34	55,8	49,9	374,1012	16,9
13	12.00	854,1	36,16	10,53	56,3	50,2	380,7648	17,1
14	12.15	837,6	36,16	10,45	57,2	51,4	377,872	17,3
15	12.30	843,2	35,38	10,78	56,1	50,6	381,3964	17,3
16	12.45	494,8	38,2	6,03	53,2	49,3	230,346	17,9
17	13.00	162,9	38,46	2,3	40,2	39,8	88,458	20,8
18	13.15	214,9	37,16	2,71	38,7	36,6	100,7036	18
19	13.30	312,1	39,76	4,22	40,7	37,9	172,1608	20,6
20	13.45	794,7	36,94	10,17	51	47,7	375,6798	18,1
21	14.00	754,3	36,22	9,62	51,1	45,8	348,4364	17,7
22	14.15	684,3	37	8,57	50,5	47	317,09	17,8
23	14.30	502,6	37,02	7,4	50,5	47,3	310,968	20,9

Berdasarkan data yang diperoleh, nilai iradiasi matahari tertinggi tercatat pada pukul 12:00 dengan iradiasi sebesar 854,1 W/m². Dari data tersebut dapat dianalisis bahwa adanya pengaruh iradiasi matahari dan kondisi cuaca terhadap arus yang dihasilkan oleh panel monokristalin. Diperoleh bahwa arus keluaran panel monokristalin sangat dipengaruhi oleh tingkat iradiasi, dimana peningkatan iradiasi akan diikuti oleh peningkatan arus yang dihasilkan, sementara nilai tegangannya cenderung berada pada kondisi yang relatif stabil. Selain itu suhu menunjukkan hubungan yang berbanding lurus dengan iradiasi, baik pada suhu permukaan panel maupun suhu lingkungan. Semakin besar iradiasi yang diterima, semakin besar pula energi yang diserap sehingga menyebabkan kenaikan suhu panel. Rata-rata daya keluaran maksimum panel monokristalin adalah sebesar 227,44 W, sedangkan panel bifasial mampu menghasilkan rata-rata yang lebih tinggi, yaitu sebesar 288,86 W.

Tabel 4. 27 Hasil Pengukuran Panel Monokristalin 11 Oktober 2025

No	Waktu	Iradiasi (W/m ²)	Panel Monokristalin		Suhu		Daya (W)	Efisiensi (%)
			Tegangan (V)	Arus (A)	TPV (°C)	TAM (°C)		
1	09.00	613,5	28,32	8,08	52,2	46,2	228,8256	14,5
2	09.15	639,2	28,82	8,03	53,4	47,2	231,4246	14
3	09.30	647,3	27,84	8,67	53,6	48,2	241,3728	14,5
4	09.45	386,5	28,76	5,23	57,9	51,3	150,4148	15,1
5	10.00	217,3	28,94	2,65	47,4	44,9	76,691	13,7
6	10.15	249,4	28,78	3,2	50,7	45,2	92,096	14,3
7	10.30	676	28,38	7,9	47,7	44,3	224,202	12,9
8	10.45	832,5	27,84	10,81	53,9	48	300,9504	14
9	11.00	850,7	28,16	11,01	53,6	46,7	310,0416	14,1
10	11.15	827,1	28,16	10,37	55,1	49,3	292,0192	13,7
11	11.30	836,2	28,18	10,45	55,8	49,8	294,481	13,7
12	11.45	858,2	28,16	10,56	57,2	51	297,3696	13,4
13	12.00	820,8	28,18	10,45	54,5	48,8	294,481	13,9
14	12.15	815,1	27,76	10,6	56,1	49,9	294,256	14
15	12.30	800,7	28,18	10,26	54,2	48,3	289,1268	14
16	12.45	780,5	27,78	10,16	54,2	48,7	282,2448	14
17	13.00	699,6	27,78	9,45	52,2	47,5	262,521	14,6
18	13.15	718,4	28,24	9,44	52,9	48,4	266,5856	14,4
19	13.30	659,4	27,38	9,06	51,5	46,9	248,0628	14,6
20	13.45	627,7	28,44	8,08	48,4	46	229,7952	14,2
21	14.00	628,9	28,44	7,47	49,7	45,3	212,4468	13,1
22	14.15	525,5	29,28	6,71	45,8	42,5	196,4688	14,5
23	14.30	442,2	30,08	5,46	45,8	42,2	164,2368	14,4

Tabel 4. 28 Hasil Pengukuran Panel Bifasial 11 Oktober 2025

No	Waktu	Iradiasi (W/m ²)	Panel Bifasial		Suhu		Daya (W)	Efisiensi (%)
			Tegangan (V)	Arus (A)	TPV (°C)	TAM (°C)		
1	09.00	613,5	39,74	5,54	52,2	46,2	220,1596	13,8
2	09.15	639,2	39,98	6,09	53,4	47,2	243,4782	14,6
3	09.30	647,3	35,78	7,43	53,6	48,2	265,8454	15,7
4	09.45	386,5	38,98	4,18	57,9	51,3	162,9364	16,2
5	10.00	217,3	36,44	2,84	47,4	44,9	103,4896	18,3
6	10.15	249,4	35,64	3,07	50,7	45,2	109,4148	16,8
7	10.30	676	36	7,69	47,7	44,3	276,84	15,7
8	10.45	832,5	36,92	10,26	53,9	48	378,7992	17,5
9	11.00	850,7	37,22	10,46	53,6	46,7	389,3212	17,6
10	11.15	827,1	36,92	10,07	55,1	49,3	371,7844	17,2
11	11.30	836,2	36,4	10,47	55,8	49,8	381,108	17,5
12	11.45	858,2	36,1	10,58	57,2	51	381,938	17,1
13	12.00	820,8	36,38	10,21	54,5	48,8	371,4398	17,4
14	12.15	815,1	36,92	10,03	56,1	49,9	370,3076	17,47
15	12.30	800,7	37,46	9,72	54,2	48,3	364,1112	17,49
16	12.45	780,5	37,72	9,39	54,2	48,7	354,1908	17,45
17	13.00	699,6	37,68	8,75	52,2	47,5	329,7	18,1
18	13.15	718,4	37,16	9,2	52,9	48,4	341,872	18,3
19	13.30	659,4	36,86	8,44	51,5	46,9	311,0984	18,1
20	13.45	627,7	38,18	7,86	48,4	46	300,0948	18,3
21	14.00	628,9	37,66	8,01	49,7	45,3	301,6566	18,4
22	14.15	525,5	37,08	7,25	45,8	42,5	268,83	19,6
23	14.30	442,2	36,78	6,24	45,8	42,2	229,5072	19,9

Berdasarkan data yang diperoleh, nilai iradiasi matahari tertinggi tercatat pada pukul 11:45 dengan iradiasi sebesar 858,2 W/m². Dari data tersebut dapat dianalisis bahwa adanya pengaruh iradiasi matahari dan kondisi cuaca terhadap arus yang dihasilkan oleh panel monokristalin. Diperoleh bahwa arus keluaran panel monokristalin sangat dipengaruhi oleh tingkat iradiasi, dimana peningkatan iradiasi akan diikuti oleh peningkatan arus yang dihasilkan, sementara nilai tegangannya cenderung berada pada kondisi yang relatif stabil. Selain itu suhu menunjukkan hubungan yang berbanding lurus dengan iradiasi, baik pada suhu permukaan panel maupun suhu lingkungan. Semakin besar iradiasi yang diterima, semakin besar pula energi yang diserap sehingga menyebabkan kenaikan suhu panel. Rata-rata daya keluaran maksimum panel monokristalin adalah sebesar 238,26 W, sedangkan panel bifasial mampu menghasilkan rata-rata yang lebih tinggi, yaitu sebesar 296,86 W.

Tabel 4. 29 Hasil Pengukuran Panel Monokristalin 12 Oktober 2025

No	Waktu	Iradiasi (W/m ²)	Panel Monokristalin		Suhu		Daya (W)	Efisiensi (%)
			Tegangan (V)	Arus (A)	TPV (°C)	TAM (°C)		
1	09.00	555	28,32	7,14	53,6	47,3	202,2048	14,17
2	09.15	646,6	28,66	8,21	53,9	47,5	235,2986	14,15
3	09.30	253,7	28,2	3,37	50,4	46,8	95,034	14,5
4	09.45	298,6	28,1	4,02	48,8	43,8	112,962	14,7
5	10.00	332,2	28,42	4,37	52	46	124,1954	14,5
6	10.15	812,6	29,28	9,94	52,7	45,3	291,0432	13,9
7	10.30	687,4	28,62	8,21	53,8	48,2	234,9702	13,3
8	10.45	799,8	28,12	10,27	53,4	48,1	288,7924	14
9	11.00	716,6	29,1	8,86	49,9	46,6	257,826	13,9
10	11.15	755,4	29,26	8,65	55,5	50	253,099	13
11	11.30	777,6	28,14	9,73	55,3	50,1	273,8022	13,7
12	11.45	692,2	28,4	9,62	57	50,2	273,208	15,3
13	12.00	934	28,42	11,62	51,8	46,5	330,2404	13,7
14	12.15	233,4	29,04	3,54	46,5	44,4	102,8016	17,1
15	12.30	881,4	28,26	10,87	58	51	307,1862	13,5
16	12.45	790,5	28,24	9,9	59,2	52,6	279,576	13,7
17	13.00	804,5	28,34	10,51	52	47,9	297,8534	14,4
18	13.15	767,1	28,48	9,85	55,1	49,3	280,528	14,2
19	13.30	747,3	29,16	8,78	54,4	49,4	256,0248	13,3
20	13.45	702,4	28,96	8,21	50,3	48,6	237,7616	13,1
21	14.00	658,7	29,4	7,34	53	48,3	215,796	12,74
22	14.15	608	30,24	6,57	50,1	46,1	198,6768	12,71
23	14.30	506,2	30,72	5,89	48,7	45,4	180,9408	12,01

Tabel 4. 30 Hasil Pengukuran Panel Bifasial 12 Oktober 2025

No	Waktu	Iradiasi (W/m ²)	Panel Bifasial		Suhu		Daya (W)	Efisiensi (%)
			Tegangan (V)	Arus (A)	TPV (°C)	TAM (°C)		
1	09.00	555	39,48	5,57	53,6	47,3	219,9036	15,2
2	09.15	646,6	38,72	6,46	53,9	47,5	250,1312	14,8
3	09.30	253,7	36,4	3,42	50,4	46,8	124,488	18,8
4	09.45	298,6	37,96	3,7	48,8	43,8	140,452	18
5	10.00	332,2	36,44	4,46	52	46	162,5224	18,8
6	10.15	812,6	36,2	10,45	52,7	45,3	378,29	17,9
7	10.30	687,4	36,98	8,04	53,8	48,2	297,3192	16,6
8	10.45	799,8	36,28	10,15	53,4	48,1	368,242	17,7
9	11.00	716,6	37,1	8,94	49,9	46,6	331,674	17,8
10	11.15	755,4	35,52	9,56	55,5	50	339,5712	17,2
11	11.30	777,6	36,36	9,78	55,3	50,1	355,6008	17,5
12	11.45	692,2	36,3	9,54	57	50,2	346,302	19,2
13	12.00	934	37,44	11,5	51,8	46,5	430,56	17,7

14	12.15	233,4	37	3,42	46,5	44,4	131,35	20,8
15	12.30	881,4	36,98	10,68	58	51	394,9464	17,2
16	12.45	790,5	35,44	10,09	59,2	52,6	357,5896	17,3
17	13.00	804,5	37,74	9,84	52	47,9	371,3616	17,7
18	13.15	767,1	37,76	9,38	55,1	49,3	354,1888	17,7
19	13.30	747,3	36,98	9,29	54,4	49,4	343,5442	17,6
20	13.45	702,4	37,72	8,58	50,3	48,6	323,6376	17,7
21	14.00	658,7	37,74	8,34	53	48,3	314,7516	18,3
22	14.15	608	37,76	7,85	50,1	46,1	296,416	18,7
23	14.30	586,2	37,04	7,54	48,7	45,4	279,2816	18,3

Berdasarkan data yang diperoleh, nilai iradiasi matahari tertinggi tercatat pada pukul 12:00 dengan iradiasi sebesar 934 W/m². Dari data tersebut dapat dianalisis bahwa adanya pengaruh iradiasi matahari dan kondisi cuaca terhadap arus yang dihasilkan oleh panel monokristalin. Diperoleh bahwa arus keluaran panel monokristalin sangat dipengaruhi oleh tingkat iradiasi, dimana peningkatan iradiasi akan diikuti oleh peningkatan arus yang dihasilkan, sementara nilai tegangannya cenderung berada pada kondisi yang relatif stabil. Selain itu suhu menunjukkan hubungan yang berbanding lurus dengan iradiasi, baik pada suhu permukaan panel maupun suhu lingkungan. Semakin besar iradiasi yang diterima, semakin besar pula energi yang diserap sehingga menyebabkan kenaikan suhu panel. Rata-rata daya keluaran maksimum panel monokristalin adalah sebesar 231,73 W, sedangkan panel bifasial mampu menghasilkan rata-rata yang lebih tinggi, yaitu sebesar 300,31 W.

Tabel 4. 31 Hasil Pengukuran Panel Monokristalin 13 Oktober 2025

No	Waktu	Iradiasi (W/m ²)	Panel Monokristalin		Suhu		Daya (W)	Efisiensi (%)
			Tegangan (V)	Arus (A)	TPV (°C)	TAM (°C)		
1	09.00	148,4	29,18	1,88	40,3	38	54,8584	14,3
2	09.15	153,5	29,18	1,88	37,1	35,3	54,8584	13,9
3	09.30	477,3	29,34	7,56	44,1	38,5	221,8104	18
4	09.45	886,1	30,58	9,42	49,2	43,5	288,0636	12,6
5	10.00	330,4	29,56	4,03	49,1	45,2	119,1268	14
6	10.15	751,9	28,84	9,32	50,7	44,5	268,7888	13,9
7	10.30	270,3	28,1	3,65	46,3	43,6	102,565	14,7
8	10.45	698,9	28,68	9,29	50,6	46,4	266,4372	14,8
9	11.00	704,5	28,7	9,02	52,6	46,5	258,874	14,2
10	11.15	749,2	28,16	9,45	54,5	48,3	266,112	13,8
11	11.30	731,4	28,16	9,13	57,1	51,1	257,1008	13,6
12	11.45	751,2	28,16	9,29	57	50,9	261,6064	13,5
13	12.00	817,2	28,36	10,19	55,1	48,7	288,9884	13,7

14	12.15	851,3	28,36	10,38	57,4	50,8	294,3768	13,4
15	12.30	741,2	28,28	9,59	53,9	48,8	271,2052	14,2
16	12.45	715,8	28,28	9,23	54,5	48,7	261,0244	14,1
17	13.00	561,6	28,28	7,54	50,4	46,5	213,2312	14,7
18	13.15	646,6	29,12	8,91	47,7	44,4	259,4592	15,6
19	13.30	383,8	28,28	5,17	52,9	49,4	146,2076	14,8
20	13.45	298,1	28,84	3,79	47,7	46,5	109,3036	14,2
21	14.00	352,5	28,84	4,67	49,3	46	134,6828	14,8
22	14.15	201,2	28,84	2,78	42,5	40,6	80,1752	15,5
23	14.30	451	30,46	5,63	43,7	40,3	171,4898	14,7

Tabel 4. 32 Hasil Pengukuran Panel Bifasial 13 Oktober 2025

No	Waktu	Iradiasi (W/m ²)	Panel Bifasial		Suhu		Daya (W)	Efisiensi (%)
			Tegangan (V)	Arus (A)	TPV (°C)	TAM (°C)		
1	09.00	148,4	37,24	1,88	40,3	38	70,0112	18,4
2	09.15	153,5	37,22	1,84	37,1	35,3	68,4848	17,1
3	09.30	477,3	38,62	6,58	44,1	38,5	254,1196	20,4
4	09.45	886,1	36,14	10,27	49,2	43,5	371,1578	16,1
5	10.00	330,4	36,88	4,18	49,1	45,2	154,1584	17,9
6	10.15	751,9	37,9	8,86	50,7	44,5	335,794	17,1
7	10.30	270,3	37,48	3,57	46,3	43,6	133,8036	19
8	10.45	698,9	37,5	9,03	50,6	46,4	338,625	18,6
9	11.00	704,5	36,54	8,93	52,6	46,5	326,3022	17,8
10	11.15	749,2	37,08	9,17	54,5	48,3	340,0236	17,4
11	11.30	731,4	36,88	8,96	57,1	51,1	330,4448	17,3
12	11.45	751,2	35,54	9,45	57	50,9	335,853	17,1
13	12.00	817,2	35,5	10,24	55,1	48,7	363,52	17,1
14	12.15	851,3	36,28	10,73	57,4	50,8	389,2844	17,5
15	12.30	741,2	37,08	9,39	53,9	48,8	348,1812	18
16	12.45	715,8	36,54	9,02	54,5	48,7	329,5908	17,7
17	13.00	561,6	36,6	7,23	50,4	46,5	264,618	18,1
18	13.15	646,6	36,34	8,98	47,7	44,4	326,3332	19,4
19	13.30	383,8	36,44	5,08	52,9	49,4	185,1152	18,5
20	13.45	298,1	36,68	3,87	47,7	46,5	141,9516	18,3
21	14.00	352,5	37,22	4,54	49,3	46	168,9788	18,4
22	14.15	201,2	37,28	2,66	42,5	40,6	99,1648	18,9
23	14.30	451	38	5,98	43,7	40,3	227,24	19,3

Berdasarkan data yang diperoleh, nilai iradiasi matahari tertinggi tercatat pada pukul 09:45 dengan iradiasi sebesar 886,1 W/m². Dari data tersebut dapat dianalisis bahwa adanya pengaruh iradiasi matahari dan kondisi cuaca terhadap arus yang dihasilkan oleh panel monokristalin. Diperoleh bahwa arus keluaran panel monokristalin

sangat dipengaruhi oleh tingkat iradiasi, dimana peningkatan iradiasi akan diikuti oleh peningkatan arus yang dihasilkan, sementara nilai tegangannya cenderung berada pada kondisi yang relatif stabil. Selain itu suhu menunjukkan hubungan yang berbanding lurus dengan iradiasi, baik pada suhu permukaan panel maupun suhu lingkungan. Semakin besar iradiasi yang diterima, semakin besar pula energi yang diserap sehingga menyebabkan kenaikan suhu panel. Rata-rata daya keluaran maksimum panel monokristalin adalah sebesar 202,18 W, sedangkan panel bifasial mampu menghasilkan rata-rata yang lebih tinggi, yaitu sebesar 256,64 W.

Tabel 4. 33 Hasil Pengukuran Panel Monokristalin 14 Oktober 2025

No	Waktu	Iradiasi (W/m ²)	Panel Monokristalin		Suhu		Daya (W)	Efisiensi (%)
			Tegangan (V)	Arus (A)	TPV (°C)	TAM (°C)		
1	09.00	104,4	28,5	1,43	39,2	37,5	40,755	15,1
2	09.15	493,7	30,16	5,87	48,3	42,5	177,0392	13,9
3	09.30	805,2	29,74	9,42	47,5	41,7	280,1508	13,5
4	09.45	249,3	28,5	3,15	40,8	36,7	89,775	14
5	10.00	677,4	29,72	8,24	51,3	45,2	244,8928	14
6	10.15	855,9	29,32	10,02	53	48	293,7864	13,3
7	10.30	254	28,66	3,14	43,5	49	89,9924	13,7
8	10.45	335,6	27,78	4,07	46,3	43,1	113,0646	13,1
9	11.00	870,7	28,36	5,39	57,2	41,7	152,8604	6,8
10	11.15	1007,1	28,76	11,78	50,7	49,2	338,7928	13
11	11.30	211,9	29,46	2,37	53,7	48,9	69,8202	12,8
12	11.45	289,8	28,7	3,8	47,7	49,3	109,06	14,6
13	12.00	745,7	28,1	9,76	50	44,3	274,256	14,3
14	12.15	289,3	30,3	2,85	55,1	46,5	86,355	11,6
15	12.30	911,2	28,9	10,94	57,4	48	316,166	13,5
16	12.45	866,2	29,68	9,16	54,8	50,7	271,8688	12,2
17	13.00	864,9	29,06	10,08	53,2	48,5	292,9248	13,1
18	13.15	751,9	28,38	10,23	54,5	47,9	290,3274	15
19	13.30	751,5	29,52	8,61	46,5	48,8	254,1672	13,1
20	13.45	668,7	28,92	8,38	50	45,9	242,3496	14,1
21	14.00	669,2	29,7	7,29	47,6	45,5	216,513	12,5
22	14.15	631,3	29,58	6,37	47,2	43,7	188,4246	11,6
23	14.30	542,2	30,3	5,81	45,3	44,2	176,043	12,6

Tabel 4. 34 Hasil Pengukuran Panel Bifasial 14 Oktober 2025

No	Waktu	Iradiasi (W/m ²)	Panel Bifasial		Suhu		Daya (W)	Efisiensi (%)
			Tegangan (V)	Arus (A)	TPV (°C)	TAM (°C)		
1	09.00	104,4	37,26	1,29	39,2	37,5	48,0654	17,7
2	09.15	493,7	37,88	5,75	48,3	42,5	217,81	16,9

3	09.30	805,2	31,5	9,61	47,5	41,7	302,715	14,4
4	09.45	249,3	38,18	2,95	40,8	36,7	112,631	17,3
5	10.00	677,4	35,5	8,33	51,3	45,2	295,715	16,7
6	10.15	855,9	37,96	10,33	53	48	392,1268	17,6
7	10.30	254	36,9	3,09	43,5	49	114,021	17,2
8	10.45	335,6	37,76	3,75	46,3	43,1	141,6	16,2
9	11.00	870,7	37,08	5,29	57,2	41,7	196,1532	8,6
10	11.15	1007,1	36,28	12,35	50,7	49,2	448,058	17,1
11	11.30	211,9	37,2	2,71	53,7	48,9	100,812	18,2
12	11.45	289,8	36,28	3,79	47,7	49,3	137,5012	18,2
13	12.00	745,7	36,18	10,13	50	44,3	366,5034	18,9
14	12.15	289,3	35,86	3,66	55,1	46,5	131,2476	17,4
15	12.30	911,2	36,5	11,09	57,4	48	404,785	17
16	12.45	866,2	36,74	10,61	54,8	50,7	389,8114	17,3
17	13.00	864,9	37,48	10,42	53,2	48,5	390,5416	17,3
18	13.15	751,9	37,66	9,71	54,5	47,9	365,6786	18,7
19	13.30	751,5	36,98	9,18	46,5	48,8	339,4764	17,3
20	13.45	668,7	37,8	8,59	50	45,9	324,702	18,6
21	14.00	669,2	37,62	8,18	47,6	45,5	307,7316	17,6
22	14.15	631,3	38,62	7,52	47,2	43,7	290,4224	17,6
23	14.30	542,2	38,54	7,32	45,3	44,2	282,1128	20

Berdasarkan data yang diperoleh, nilai iradiasi matahari tertinggi tercatat pada pukul 11:15 dengan iradiasi sebesar 1007,1 W/m². Dari data tersebut dapat dianalisis bahwa adanya pengaruh iradiasi matahari dan kondisi cuaca terhadap arus yang dihasilkan oleh panel monokristalin. Diperoleh bahwa arus keluaran panel monokristalin sangat dipengaruhi oleh tingkat iradiasi, dimana peningkatan iradiasi akan diikuti oleh peningkatan arus yang dihasilkan, sementara nilai tegangannya cenderung berada pada kondisi yang relatif stabil. Selain itu suhu menunjukkan hubungan yang berbanding lurus dengan iradiasi, baik pada suhu permukaan panel maupun suhu lingkungan. Semakin besar iradiasi yang diterima, semakin besar pula energi yang diserap sehingga menyebabkan kenaikan suhu panel. Rata-rata daya keluaran maksimum panel monokristalin adalah sebesar 200,4 W, sedangkan panel bifasial mampu menghasilkan rata-rata yang lebih tinggi, yaitu sebesar 265,22 W.

Tabel 4. 35 Hasil Pengukuran Panel Monokristalin 15 Oktober 2025

No	Waktu	Iradiasi (W/m ²)	Panel Monokristalin		Suhu		Daya (W)	Efisiensi (%)
			Tegangan (V)	Arus (A)	TPV (°C)	TAM (°C)		
1	09.00	270,3	28,08	3,56	41,8	38,8	99,9648	14,3
2	09.15	122	27,5	1,55	37,7	36,2	42,625	13,5

3	09.30	302	28,14	4,11	42,9	39,1	115,6554	14,9
4	09.45	682,1	28,36	8,71	51,8	44,7	247,0156	14
5	10.00	170,7	28,54	2,15	45,7	43,2	61,361	13,9
6	10.15	213,2	27,62	2,79	46	41,6	77,0598	14
7	10.30	749,7	27,16	10,27	48,9	42,6	278,9332	14,4
8	10.45	827,6	26,88	11,17	58,7	51,4	300,2496	14,1
9	11.00	660	27,86	8,73	55,6	49,9	243,2178	14,3
10	11.15	693,3	29,22	8,64	50,3	45,6	252,4608	14,1
11	11.30	787	27,84	10,36	51,5	45,5	288,4224	14,2
12	11.45	801,2	27,84	10,61	53,4	47,5	295,3824	14,3
13	12.00	840,7	27,82	10,98	54,7	48,4	305,4636	14,1
14	12.15	858,7	29,08	9,8	56,5	50,1	284,984	12,9
15	12.30	861,4	27,82	11,16	56,4	49,6	310,4712	14
16	12.45	826,4	27,82	10,88	53,9	48	302,6816	14,2
17	13.00	779,5	27,84	10,17	55	49,4	283,1328	14,1
18	13.15	721,6	29,12	9	53,4	48,5	262,08	14,1
19	13.30	706,9	27,74	9,36	50	45,3	259,6464	14,2
20	13.45	610,5	30	7,34	45,8	45,4	220,2	14
21	14.00	619,1	30,12	6,94	49,3	45	209,0328	13,1
22	14.15	578,2	29,24	6,46	47,4	43,8	188,8904	12,7
23	14.30	518,4	30,02	5,51	48,2	44,9	165,4102	12,4

Tabel 4. 36 Hasil Pengukuran Panel Bifasial 15 Oktober 2025

No	Waktu	Iradiasi (W/m ²)	Panel Bifasial		Suhu		Daya (W)	Efisiensi (%)
			Tegangan (V)	Arus (A)	TPV (°C)	TAM (°C)		
1	09.00	270,3	37,8	3,35	41,8	38,8	126,63	18
2	09.15	122	37,08	1,37	37,7	36,2	50,7996	16
3	09.30	302	34	3,68	42,9	39,1	125,12	15,9
4	09.45	682,1	40,36	6,79	51,8	44,7	274,0444	15,4
5	10.00	170,7	36,36	2,34	45,7	43,2	85,0824	19,1
6	10.15	213,2	37,2	2,61	46	41,6	97,092	17,5
7	10.30	749,7	37,8	9,03	48,9	42,6	341,334	17,5
8	10.45	827,6	35,54	10,53	58,7	51,4	374,2362	17,3
9	11.00	660	37,26	8,17	55,6	49,9	304,4142	17,7
10	11.15	693,3	37,34	8,73	50,3	45,6	325,9782	18
11	11.30	787	37,42	9,69	51,5	45,5	362,5998	17,7
12	11.45	801,2	36,62	10,02	53,4	47,5	366,9324	17,6
13	12.00	840,7	35,94	10,44	54,7	48,4	375,2136	17,1
14	12.15	858,7	36,68	10,63	56,5	50,1	389,9084	17,4
15	12.30	861,4	36,76	10,58	56,4	49,6	388,9208	17,3
16	12.45	826,4	35,92	10,29	53,9	48	369,6168	17,2
17	13.00	779,5	37,54	9,4	55	49,4	352,876	17,4
18	13.15	721,6	35,84	9,52	53,4	48,5	341,1968	18,1
19	13.30	706,9	37,5	8,94	50	45,3	335,25	18,2

20	13.45	610,5	37,44	8,2	45,8	45,4	307,008	19,3
21	14.00	619,1	38,26	7,66	49,3	45	293,0716	18,2
22	14.15	578,2	37,46	7,13	47,4	43,8	267,0898	17,7
23	14.30	518,4	38,16	6,51	48,2	44,9	248,4216	18,4

Berdasarkan data yang diperoleh, nilai iradiasi matahari tertinggi tercatat pada pukul 12:30 dengan iradiasi sebesar 861,4 W/m². Dari data tersebut dapat dianalisis bahwa adanya pengaruh iradiasi matahari dan kondisi cuaca terhadap arus yang dihasilkan oleh panel monokristalin. Diperoleh bahwa arus keluaran panel monokristalin sangat dipengaruhi oleh tingkat iradiasi, dimana peningkatan iradiasi akan diikuti oleh peningkatan arus yang dihasilkan, sementara nilai tegangannya cenderung berada pada kondisi yang relatif stabil. Selain itu suhu menunjukkan hubungan yang berbanding lurus dengan iradiasi, baik pada suhu permukaan panel maupun suhu lingkungan. Semakin besar iradiasi yang diterima, semakin besar pula energi yang diserap sehingga menyebabkan kenaikan suhu panel. Rata-rata daya keluaran maksimum panel monokristalin adalah sebesar 221,49 W, sedangkan panel bifasial mampu menghasilkan rata-rata yang lebih tinggi, yaitu sebesar 282,73 W.

4.2. Analisis Hasil

4.2.1. Perhitungan Efisiensi Panel Surya Monokristalin

Efisiensi panel surya merupakan rasio antara daya listrik yang dihasilkan panel dibandingkan dengan energi cahaya matahari yang diterima oleh permukaannya. Perhitungan efisiensi ini akan membantu mengetahui seberapa besar energi matahari yang benar-benar dikonversi jadi listrik, dan juga membantu membedakan performa antara monokristalin dengan bifasial dalam kondisi real. Perhitungan efisiensi panel dapat dilakukan dengan menggunakan Persamaan (3.1). Luas Permukaan Panel monokristalin = 2274 mm × 1134 mm = 2,57 m²

Nilai efisiensi yang diperoleh pada penelitian ini merupakan efisiensi lapangan (*real-time*) yang dihitung berdasarkan data pengukuran aktual berupa arus, tegangan, serta intensitas iradiasi matahari pada waktu tertentu.

Perhitungan Efisiensi Panel Monokristalin 01 Oktober 2025

$$1. \eta = \frac{P_{panel}}{G \times A} \times 100\% = \frac{36,42 \times 4,28}{533,2 \times 2,57} \times 100\% = 11,3 \% (09:00)$$

$$2. \eta = \frac{P_{panel}}{G \times A} \times 100\% = \frac{29,1 \times 8,15}{653,2 \times 2,57} \times 100\% = 14,1 \% (10:00)$$

$$3. \eta = \frac{P_{panel}}{G \times A} \times 100\% = \frac{28,06 \times 13,5}{1038,1 \times 2,57} \times 100\% = 14,1 \% (11:00)$$

$$4. \eta = \frac{P_{panel}}{G \times A} \times 100\% = \frac{27,88 \times 3,61}{270,4 \times 2,57} \times 100\% = 14,4 \% (12:00)$$

$$5. \eta = \frac{P_{panel}}{G \times A} \times 100\% = \frac{36,32 \times 0,79}{82,6 \times 2,57} \times 100\% = 13,5 \% (13:00)$$

$$6. \eta = \frac{P_{panel}}{G \times A} \times 100\% = \frac{37,36 \times 5,55}{873,8 \times 2,57} \times 100\% = 9,2 \% (14:00)$$

Rata-rata Efisiensi = 13,79 %

Dengan melakukan perhitungan yang sama, untuk nilai efisiensi panel monokristalin pada hari-hari berikutnya dapat dilihat pada tabel hasil pengukuran panel monokristalin.

4.2.2. Perhitungan Efisiensi Panel Surya Bifasial

Nilai efisiensi yang diperoleh pada penelitian ini merupakan efisiensi lapangan (real-time) yang dihitung berdasarkan data pengukuran aktual berupa arus, tegangan, serta intensitas iradiasi matahari pada waktu tertentu. Perhitungan efisiensi panel bifasial dapat dilakukan dengan menggunakan Persamaan (3.1). Luas Permukaan panel Bifasial = $2,384 \text{ mm} \times 1,092 \text{ mm} = 2,60 \text{ m}^2$.

Perhitungan Efisiensi Panel Bifasial 01 Oktober 2025

$$1. \eta = \frac{P_{panel}}{G \times A} \times 100\% = \frac{37,58 \times 6,01}{533,2 \times 2,60} \times 100\% = 16,2 \% (09:00)$$

$$2. \eta = \frac{P_{panel}}{G \times A} \times 100\% = \frac{33,7 \times 8,4}{653,2 \times 2,60} \times 100\% = 16,6 \% (10:00)$$

$$3. \eta = \frac{P_{panel}}{G \times A} \times 100\% = \frac{36,68 \times 12,9}{1038,1 \times 2,60} \times 100\% = 17,5 \% (11:00)$$

$$4. \eta = \frac{P_{panel}}{G \times A} \times 100\% = \frac{37,3 \times 3,35}{270,4 \times 2,60} \times 100\% = 17,7 \% (12:00)$$

$$5. \eta = \frac{P_{panel}}{G \times A} \times 100\% = \frac{37,52 \times 0,87}{82,6 \times 2,60} \times 100\% = 15,1 \% (13:00)$$

$$6. \eta = \frac{P_{panel}}{G \times A} \times 100\% = \frac{38,9 \times 10,55}{873,8 \times 2,60} \times 100\% = 18 \% (14:00)$$

Rata-rata Efisiensi = 17,81 %

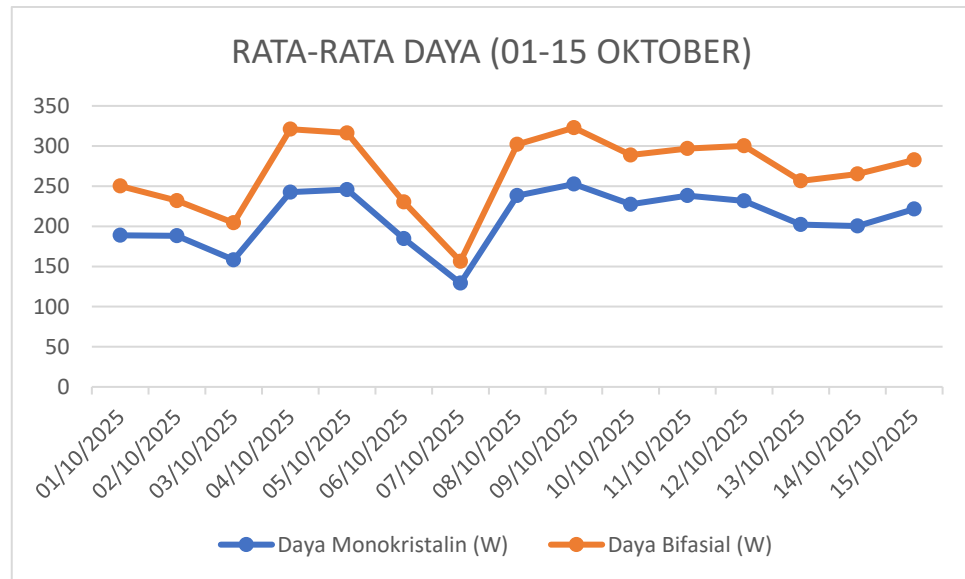
Dengan melakukan perhitungan yang sama, untuk nilai efisiensi panel bifasial pada hari-hari berikutnya dapat dilihat pada tabel hasil pengukuran panel bifasial.

4.3. Pembahasan

4.3.1. Hasil Analisa Rata-Rata Daya

Grafik berikut menyajikan hasil rata-rata daya panel monokristalin dan bifasial pada

periode 01-15 Oktober 2025.



Gambar 4. 15 Grafik Rata-Rata Daya

Grafik menunjukkan bahwa selama periode pengamatan tanggal 01–15 Oktober 2025, panel bifasial secara konsisten menghasilkan daya rata-rata yang lebih tinggi dibandingkan panel monokristalin pada seluruh hari pengukuran. Rata-rata daya panel monokristalin berada pada kisaran sekitar 130–255 W, sedangkan panel bifasial berada pada kisaran yang lebih tinggi yaitu sekitar 160–325 W. Hal ini mengindikasikan keunggulan performa panel bifasial dalam memanfaatkan radiasi matahari, baik dari sisi depan maupun pantulan dari permukaan di sekitarnya.

Kedua jenis panel menunjukkan pola fluktuasi yang relatif serupa, dengan penurunan daya yang cukup signifikan pada 7 Oktober, yang kemungkinan disebabkan oleh faktor eksternal seperti penurunan intensitas radiasi matahari akibat cuaca mendung atau hujan. Namun demikian, meskipun terjadi penurunan, daya yang dihasilkan panel bifasial tetap lebih tinggi dibandingkan panel monokristalin, menandakan ketahanan performa yang lebih baik terhadap kondisi lingkungan yang kurang optimal.

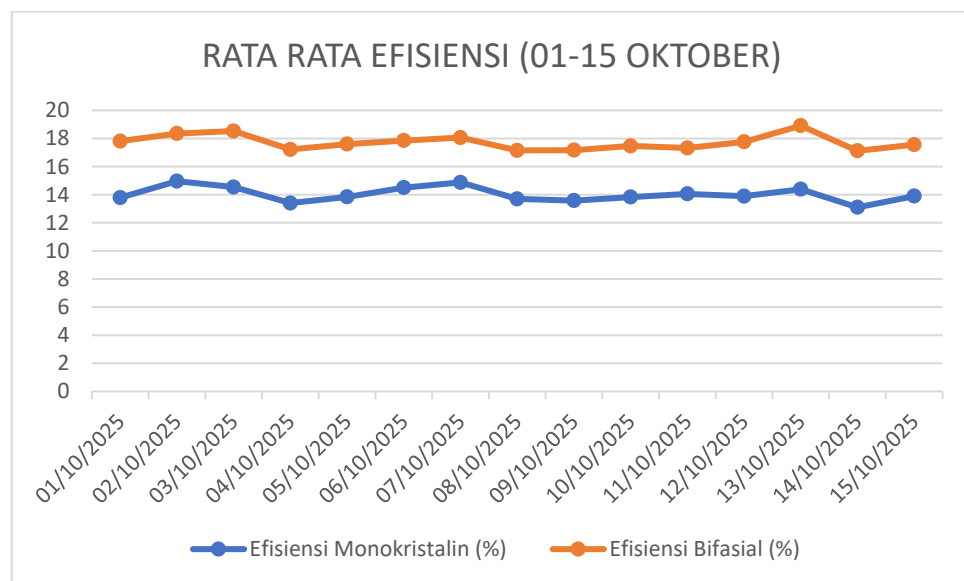
Puncak daya untuk kedua panel terjadi pada rentang 4–5 Oktober dan 9 Oktober, di mana panel bifasial mencapai nilai maksimum sekitar 320–325 W, sedangkan panel monokristalin mencapai sekitar 245–255 W. Selisih daya yang relatif konsisten ini menunjukkan bahwa kontribusi penyerapan radiasi tambahan pada sisi belakang panel bifasial berperan signifikan dalam meningkatkan output daya harian.

Secara keseluruhan, grafik ini memperlihatkan bahwa panel bifasial lebih optimal

dibandingkan panel monokristalin dalam menghasilkan daya rata-rata, terutama pada kondisi radiasi matahari yang tinggi. Dengan demikian, panel bifasial memiliki potensi yang lebih besar untuk diterapkan pada sistem pembangkit listrik tenaga surya yang mengutamakan efisiensi dan peningkatan energi keluaran harian.

4.3.2. Hasil Analisa Rata-Rata Efisiensi

Grafik berikut menyajikan hasil rata-rata efisiensi panel monokristalin dan bifasial pada periode 01-15 Oktober 2025.



Gambar 4. 16 Grafik Rata-Rata Efisiensi

Berdasarkan grafik rata-rata efisiensi periode 1–15 Oktober, panel bifasial menunjukkan kinerja yang lebih optimal dibandingkan panel monokristalin. Hal ini terlihat dari nilai efisiensi rata-rata panel bifasial yang secara konsisten berada pada kisaran 17–19%, sedangkan panel monokristalin hanya berada pada kisaran 13–15%. Selisih efisiensi ini terjadi hampir di seluruh periode pengamatan, menandakan keunggulan panel bifasial secara berkelanjutan, bukan hanya pada hari tertentu. Dari sisi kestabilan performa, kedua panel menunjukkan pola fluktuasi efisiensi yang relatif serupa, namun panel bifasial tetap mempertahankan nilai efisiensi yang lebih tinggi meskipun terjadi penurunan pada beberapa hari, seperti sekitar tanggal 4 dan 9 Oktober. Hal ini menunjukkan bahwa panel bifasial lebih mampu mempertahankan performa kerja pada kondisi lingkungan yang bervariasi. Sementara itu, panel monokristalin cenderung memiliki efisiensi yang lebih rendah dan lebih sensitif terhadap perubahan kondisi cuaca

dan suhu.

Secara keseluruhan, berdasarkan nilai efisiensi rata-rata yang lebih tinggi, kestabilan performa, serta kemampuan menghasilkan energi listrik yang lebih besar dalam periode pengamatan yang sama, panel bifasial dapat dinyatakan sebagai panel yang lebih optimal dibandingkan panel monokristalin. Panel monokristalin tetap layak digunakan dari sisi biaya dan kemudahan instalasi, namun dari aspek performa energi, panel bifasial memberikan keuntungan yang lebih signifikan.

Efisiensi panel surya dalam penelitian ini dihitung menggunakan Persamaan (3.1). Pengukuran dilakukan secara harian pada periode 1–15 Oktober dengan mencatat nilai daya keluaran untuk panel monokristalin dan bifasial. Nilai efisiensi harian yang diperoleh kemudian dirata-ratakan untuk menganalisis performa kedua jenis panel selama periode pengamatan. Berdasarkan persamaan tersebut, perbedaan nilai efisiensi antara panel monokristalin dan bifasial terutama dipengaruhi oleh perbedaan daya keluaran yang dihasilkan pada kondisi radiasi matahari dan luas panel yang relatif sama. Panel bifasial menghasilkan daya keluaran yang lebih tinggi karena kemampuannya memanfaatkan radiasi matahari dari dua sisi, yaitu radiasi langsung pada sisi depan serta radiasi pantulan dari sisi belakang. Peningkatan daya keluaran ini secara langsung berkontribusi terhadap peningkatan nilai efisiensi panel bifasial.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa efisiensi rata-rata panel bifasial berada pada kisaran 17–19%, sedangkan panel monokristalin berada pada kisaran 13–15%. Perbedaan ini mengindikasikan bahwa teknologi bifasial memiliki kemampuan konversi energi yang lebih baik dibandingkan panel monokristalin pada kondisi lingkungan yang sama. Dengan demikian, berdasarkan metode perhitungan efisiensi yang digunakan, panel bifasial dapat dinyatakan lebih optimal dalam menghasilkan energi listrik dibandingkan panel monokristalin.

Tabel 4. 37 Analisis Perbandingan Kinerja Panel

Parameter Perbandingan	Panel Monokristalin	Panel Bifasial
Periode pengamatan	1–15 Oktober	1–15 Oktober
Kisaran efisiensi rata-rata (%)	13 – 15	17 – 19
Efisiensi tertinggi (%)	±15	±19
Pola fluktuasi	Relatif stabil, nilai rendah	Relatif stabil, nilai lebih tinggi

Sumber radiasi	Satu sisi (depan)	Dua sisi (depan dan belakang)
Daya keluaran	Lebih rendah	Lebih tinggi
Tingkat keoptimalan	Cukup optimal	Lebih optimal

Dilihat dari prinsip kerja dan strukturnya, panel monokristalin menggunakan sel silikon kristal tunggal yang hanya menerima radiasi matahari dari sisi depan. Struktur ini membuat proses konversi energi lebih sederhana dan stabil, dengan performa yang sangat bergantung pada iradiasi langsung. Sedangkan panel bifasial memiliki sel aktif di kedua sisi (depan dan belakang), sehingga mampu memanfaatkan radiasi langsung sekaligus radiasi pantulan dari permukaan di bawahnya. Hal ini memberikan potensi daya keluaran yang lebih tinggi dibanding panel monokristalin konvensional.

Secara teknis, panel monokristalin memiliki efisiensi modul yang relatif tinggi dan konsisten, umumnya berada pada kisaran 18–22%. Efisiensi ini optimal pada kondisi iradiasi tinggi dengan sudut penyinaran yang sesuai. Sementara itu, panel bifasial dapat menghasilkan energi tambahan sebesar ± 5 –30% tergantung nilai radiasi pantulan permukaan, ketinggian pemasangan, dan jarak antar panel. Meskipun efisiensi sel per sisi dapat setara dengan monokristalin, keunggulan bifasial terletak pada akumulasi energi total yang lebih besar.

Adapun pengaruh sudut pemasangan dan lingkungan pada panel monokristalin sangat sensitif terhadap sudut kemiringan dan orientasi. Ketidaktepatan sudut dapat menyebabkan penurunan daya yang signifikan. Sementara panel bifasial lebih fleksibel terhadap variasi sudut dan orientasi karena masih dapat memanfaatkan radiasi tidak langsung. Namun, performanya sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti jenis permukaan tanah, kebersihan area sekitar, dan ketinggian panel dari permukaan reflektif.

Kedua jenis panel mengalami penurunan efisiensi akibat kenaikan temperatur. Panel monokristalin cenderung mengalami penurunan daya yang lebih terasa pada suhu tinggi karena panas terakumulasi pada satu sisi aktif. Sedangkan panel bifasial memiliki potensi pembuangan panas yang lebih baik karena konstruksi kaca ganda, sehingga pada beberapa kondisi menunjukkan stabilitas termal yang lebih baik.

Secara teknis, panel monokristalin unggul dalam kesederhanaan sistem, stabilitas performa, dan efisiensi pada ruang terbatas, sedangkan panel bifasial lebih unggul dalam total produksi energi jika didukung desain sistem dan kondisi lingkungan yang optimal.

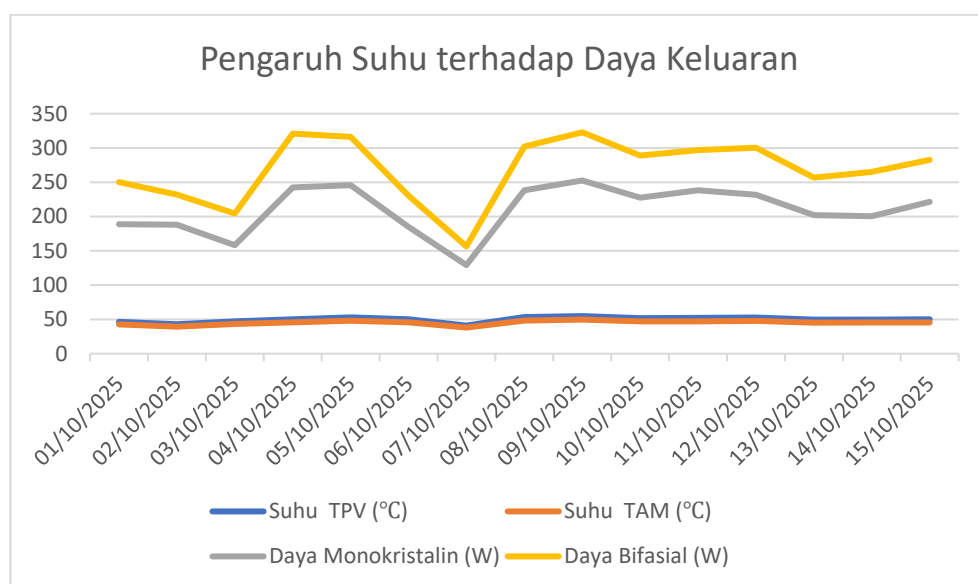
Pemilihan jenis panel harus mempertimbangkan tujuan sistem, ketersediaan lahan, kondisi lingkungan, dan aspek ekonomi jangka panjang.

Panel surya monokristalin memiliki kelebihan utama berupa efisiensi konversi yang tinggi dan kinerja yang stabil karena menggunakan struktur silikon kristal tunggal. Panel ini mampu menghasilkan daya yang optimal pada kondisi iradiasi matahari yang tinggi serta membutuhkan area pemasangan yang relatif lebih kecil, sehingga sangat cocok diterapkan pada sistem PLTS atap atau lokasi dengan keterbatasan lahan. Selain itu, teknologi monokristalin sudah matang, mudah diintegrasikan dengan berbagai komponen sistem, serta memiliki biaya instalasi yang relatif lebih rendah dibandingkan panel bifasial. Namun, panel monokristalin juga memiliki kekurangan, yaitu hanya dapat memanfaatkan radiasi matahari dari satu sisi sehingga energi pantulan dari lingkungan sekitar tidak dimanfaatkan. Kinerjanya juga cukup sensitif terhadap sudut kemiringan dan orientasi pemasangan, serta mengalami penurunan efisiensi ketika temperatur modul meningkat.

Panel surya bifasial memiliki kelebihan dalam hal produksi energi total yang lebih tinggi karena mampu menyerap radiasi matahari dari sisi depan dan belakang modul. Pemanfaatan radiasi pantulan (albedo) dari permukaan di bawah panel memungkinkan peningkatan daya keluaran yang signifikan, terutama jika dipasang di atas permukaan reflektif dan pada ketinggian yang optimal. Panel bifasial juga menunjukkan fleksibilitas yang lebih baik terhadap variasi sudut pemasangan serta memiliki stabilitas termal yang relatif lebih baik akibat konstruksi kaca ganda. Akan tetapi, panel bifasial memiliki beberapa kekurangan, antara lain biaya awal yang lebih tinggi dan desain sistem yang lebih kompleks karena membutuhkan perencanaan khusus terkait jarak, ketinggian, dan kondisi lingkungan. Selain itu, performa panel bifasial sangat bergantung pada nilai albedo dan kurang optimal jika sisi belakang panel terhalang, sehingga penerapannya pada sistem PLTS atap konvensional sering kali tidak memberikan keuntungan yang signifikan.

4.3.3. Pengaruh Suhu Terhadap Daya Keluaran Panel

Grafik berikut menyajikan hubungan antara perubahan suhu panel dan suhu lingkungan dengan daya keluaran yang dihasilkan oleh panel monokristalin dan panel bifasial periode 01-15 Oktober 2025.



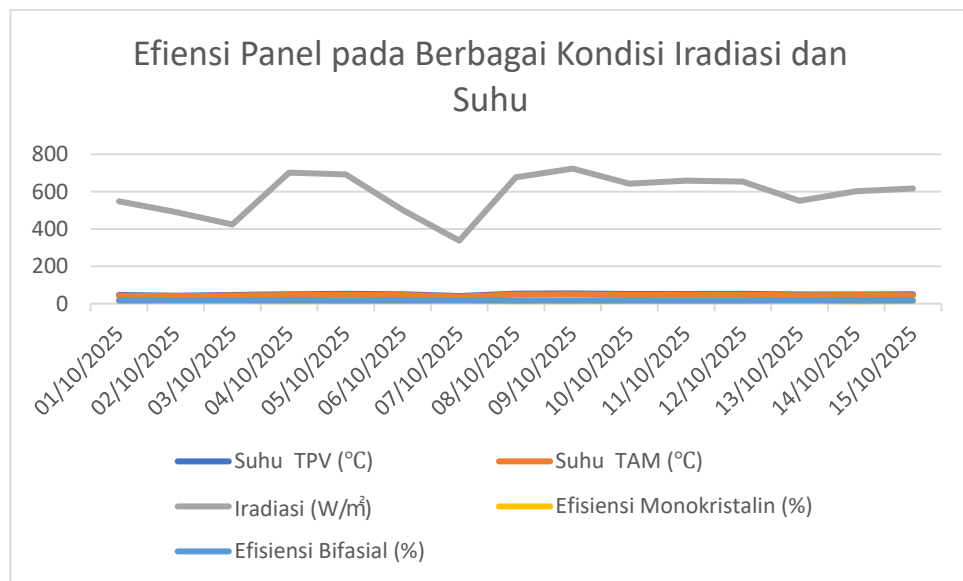
Gambar 4. 17 Grafik Suhu Terhadap Daya Keluaran

Berdasarkan grafik diatas, terlihat bahwa perubahan suhu panel (TPV) dan suhu lingkungan (TAM) berhubungan dengan fluktuasi daya yang dihasilkan oleh kedua jenis panel. Kenaikan suhu cenderung diikuti oleh peningkatan daya pada panel monokristalin dan bifasial, dengan panel bifasial secara konsisten menghasilkan daya yang lebih besar dibandingkan monokristalin. Sebaliknya, saat suhu mengalami penurunan, daya keluaran kedua panel juga menurun secara signifikan.

Secara umum, panel bifasial menunjukkan performa yang lebih optimal dalam merespons perubahan suhu dibandingkan panel monokristalin. Pada penelitian ini, diperoleh rata-rata suhu lingkungan sebesar 45,2°C diikuti oleh kenaikan suhu panel hingga rata-rata 49,6°C. Pada kondisi ini, panel monokristalin menghasilkan daya rata-rata sebesar 209,9 W, sementara panel bifasial mampu mencapai 268,4 W. Data tersebut menunjukkan bahwa meskipun beroperasi pada suhu yang cukup tinggi, panel bifasial tetap menghasilkan daya yang lebih besar dibandingkan panel monokristalin. Oleh karena itu, dapat dinyatakan bahwa pada rentang suhu tersebut, panel bifasial menunjukkan kinerja daya yang lebih baik dibandingkan panel monokristalin.

4.3.4. Perbandingan Efisiensi Panel pada Berbagai Kondisi Iradiasi dan Suhu

Grafik berikut menunjukkan perbandingan efisiensi panel pada berbagai kondisi iradiasi dan suhu selama periode 01–15 Oktober 2025.



Gambar 4. 18 Grafik Perbandingan Efisiensi Panel

Berdasarkan grafik diatas, terlihat bahwa nilai iradiasi mengalami perubahan yang cukup fluktuatif selama periode pengamatan. Variasi iradiasi tersebut berdampak langsung terhadap perubahan suhu panel (TPV) maupun suhu lingkungan (TAM). Suhu panel tercatat lebih tinggi dibandingkan suhu lingkungan karena panel menerima dan menyerap radiasi matahari secara langsung, sehingga terjadi peningkatan temperatur pada permukaan modul. Ditinjau dari aspek efisiensi, panel bifasial memperlihatkan kinerja yang lebih stabil dan konsisten apabila dibandingkan dengan panel monokristalin. Ketika nilai iradiasi meningkat, efisiensi kedua jenis panel juga cenderung mengalami kenaikan. Namun demikian, peningkatan suhu panel yang cukup tinggi dapat membatasi bahkan menurunkan nilai efisiensi, terutama pada panel monokristalin yang lebih sensitif terhadap kenaikan temperatur.

Secara keseluruhan, grafik tersebut menunjukkan bahwa efisiensi panel surya dipengaruhi oleh intensitas iradiasi dan suhu operasional panel. Iradiasi yang tinggi berkontribusi terhadap peningkatan daya keluaran, tetapi suhu kerja yang terlalu tinggi dapat menyebabkan penurunan performa sistem. Pada penelitian ini, diperoleh rata-rata suhu lingkungan sebesar 45,2°C diikuti oleh kenaikan suhu panel hingga rata-rata 49,6°C. Panel monokristalin dan panel bifasial menerima iradiasi dengan rata-rata sebesar 588,1 W/m². Pada kondisi ini, panel monokristalin menghasilkan efisiensi rata-rata sebesar 14,02%, sementara panel bifasial mencapai efisiensi rata-rata sebesar 17,72%. Selisih efisiensi ini mengindikasikan bahwa panel bifasial memiliki kemampuan konversi energi

yang lebih optimal pada kondisi iradiasi dan suhu tersebut. Selain itu, karakteristik bifasial yang dapat memanfaatkan pantulan cahaya dari sisi belakang turut berkontribusi terhadap peningkatan performa secara keseluruhan.