

ANALISIS KINERJA PANEL SURYA MONOKRISTALIN DAN POLIKRISTALIN BERDASARKAN PENGARUH *SHADING*

Ahmad Riansyah Wagola¹, Suhanto^{2*}, Agnes Erna Wahyu P.³

^{1,2,3}Politeknik Penerbangan Makassar, Makassar, Indonesia

Keywords:

shading; panel surya; monokristalin; polikristalin.

Correspondent Email:

suhanto@poltekbangmakassar.ac.id

Abstrak. *Shading* merupakan salah satu faktor lingkungan yang dapat menurunkan kinerja panel surya dengan mengurangi radiasi yang diterima permukaan *photovoltaic*. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh *shading* terhadap kinerja panel surya monokristalin ST SOLAR 50 Wp dan polikristalin INSCOM 50 Wp. Penelitian menggunakan metode eksperimen dengan pendekatan kuantitatif melalui pengukuran intensitas radiasi, suhu, tegangan, arus, daya, dan efisiensi pada kondisi normal dan *shading*. Hasil menunjukkan bahwa *shading* menurunkan arus maksimum panel monokristalin dari 2,29 A menjadi 0,68 A dan polikristalin dari 2,70 A menjadi 0,55 A. Daya maksimum monokristalin menurun sebesar 70,2%, sedangkan polikristalin sebesar 81,3%. Panel polikristalin menghasilkan daya maksimum lebih tinggi pada kondisi normal, sedangkan panel monokristalin relatif lebih mampu mempertahankan efisiensi pada kondisi radiasi rendah. Hasil ini menunjukkan bahwa potensi *shading* perlu dipertimbangkan dalam pemilihan dan pemasangan panel surya.



Copyright © 2026 The Author(s), Published by Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0).

Abstract. *Shading* is an environmental factor that can reduce solar panel performance by limiting the solar radiation received by photovoltaic surfaces. This study aims to analyze the effect of shading on ST SOLAR 50 Wp monocrystalline and INSCOM 50 Wp polycrystalline solar panels. An experimental method with a quantitative approach was employed by measuring solar radiation intensity, temperature, voltage, current, power, and efficiency under normal and shaded conditions. The results showed that shading reduced the maximum current of the monocrystalline panel from 2.29 A to 0.68 A and the polycrystalline panel from 2.70 A to 0.55 A. Maximum power decreased by 70.2% for the monocrystalline panel and 81.3% for the polycrystalline panel. The polycrystalline panel produced higher maximum power under normal conditions, while the monocrystalline panel relatively better maintained its efficiency under low-radiation conditions. These findings indicate that shading potential should be considered when selecting and installing solar panels.

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik terus meningkat seiring dengan perkembangan aktivitas manusia dan penggunaan teknologi di berbagai sektor. Di sisi lain, ketergantungan terhadap sumber energi fosil masih menjadi tantangan karena ketersediaannya terbatas dan penggunaannya berkontribusi terhadap berbagai permasalahan

lingkungan. Kondisi tersebut mendorong pengembangan dan pemanfaatan sumber energi terbarukan sebagai alternatif untuk memenuhi kebutuhan energi secara berkelanjutan. Salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki potensi besar adalah energi surya. Indonesia memiliki potensi pemanfaatan energi surya yang tinggi karena berada di wilayah tropis dan

menerima radiasi matahari sepanjang tahun. Energi surya dapat dikonversi menjadi energi listrik melalui teknologi *photovoltaic* (PV) yang menghasilkan listrik secara langsung dari energi radiasi matahari [1], [2].

Panel surya merupakan salah satu teknologi *photovoltaic* yang banyak dikembangkan dalam sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS). Kinerja panel surya dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, terutama intensitas radiasi matahari dan suhu. Peningkatan intensitas radiasi umumnya meningkatkan arus dan daya keluaran panel, sedangkan perubahan suhu dapat memengaruhi karakteristik tegangan dan daya yang dihasilkan [3]. Selain kedua faktor tersebut, kondisi pemasangan panel juga dapat memengaruhi penerimaan radiasi matahari. Salah satu permasalahan yang sering dijumpai adalah *shading* atau bayangan yang menutupi sebagian maupun seluruh permukaan panel. *Shading* dapat mengurangi radiasi yang diterima sel *photovoltaic* sehingga menyebabkan penurunan arus, daya, dan efisiensi panel surya.

Permasalahan *shading* menjadi semakin penting pada penerapan panel surya di lingkungan yang memiliki berbagai objek di sekitar sistem. Pada lingkungan bandar udara, misalnya, panel surya dapat dimanfaatkan untuk mendukung kebutuhan energi fasilitas pendukung seperti penerangan jalan dan fasilitas operasional lainnya. Panel yang dipasang pada area terbuka tetap berpotensi mengalami *shading* akibat pepohonan, bangunan, tiang, maupun objek lain di lingkungan sekitarnya. Kondisi tersebut dapat menyebabkan distribusi radiasi pada permukaan panel menjadi tidak merata. Penelitian Prabowo dan Sahroni [4] menunjukkan bahwa *shading* parsial dapat menyebabkan penurunan efisiensi sistem panel surya secara signifikan akibat berkurangnya energi radiasi yang diterima dan terganggunya distribusi daya pada sel *photovoltaic*. Selain itu, *shading* dapat menyebabkan ketidakseimbangan karakteristik antar sel (*mismatch*) yang pada akhirnya menurunkan daya keluaran sistem. Nadhiroh dkk. [5] juga menunjukkan bahwa kondisi bayangan merupakan salah satu faktor lingkungan yang berpengaruh terhadap performa sistem PLTS, selain intensitas radiasi matahari dan suhu.

Kinerja panel surya juga dipengaruhi oleh karakteristik material dan konfigurasi sel yang digunakan. Dua jenis panel yang umum digunakan adalah panel surya monokristalin dan polikristalin. Panel monokristalin menggunakan struktur kristal tunggal yang umumnya memiliki karakteristik efisiensi lebih tinggi, sedangkan panel polikristalin tersusun dari beberapa kristal silikon dan umumnya memiliki biaya produksi yang lebih rendah. Perbedaan karakteristik tersebut dapat menghasilkan respons yang berbeda terhadap perubahan kondisi lingkungan, termasuk intensitas radiasi dan suhu [2]. Oleh karena itu, pemilihan jenis panel tidak hanya perlu mempertimbangkan kondisi operasi normal, tetapi juga kondisi lingkungan yang dapat mengurangi penerimaan radiasi, seperti *shading*.

Sejumlah penelitian sebelumnya telah membahas hubungan antara kondisi lingkungan dan kinerja panel surya. Zulhakim et al. [2] melaporkan bahwa intensitas radiasi matahari dan suhu berpengaruh terhadap daya keluaran dan efisiensi panel surya. Sementara itu, Harahap et al. [6] menunjukkan bahwa panel monokristalin memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan panel polikristalin, meskipun panel polikristalin dapat menunjukkan karakteristik yang lebih stabil pada kondisi tertentu. Penelitian-penelitian tersebut menunjukkan bahwa karakteristik panel surya perlu dianalisis dengan mempertimbangkan kondisi lingkungan selama pengoperasian. Namun, kajian yang secara khusus membandingkan kinerja panel monokristalin dan polikristalin antara kondisi tanpa *shading* dan kondisi *shading*, sekaligus mengamati keterkaitannya dengan intensitas radiasi dan suhu, masih perlu dikaji lebih lanjut. Dengan demikian, diperlukan pengujian eksperimental yang dapat memberikan gambaran mengenai perubahan karakteristik listrik kedua jenis panel ketika mengalami kondisi lingkungan yang berbeda.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini melakukan analisis eksperimental terhadap kinerja panel surya monokristalin dan polikristalin pada kondisi normal dan kondisi *shading*. Pengujian dilakukan dengan mengamati intensitas radiasi matahari, suhu, tegangan, arus, daya, dan efisiensi panel pada periode pengukuran yang sama. Perbandingan

kedua jenis panel pada kondisi tanpa *shading* dan *shading* digunakan untuk mengidentifikasi tingkat penurunan kinerja serta karakteristik respons masing-masing panel terhadap perubahan kondisi lingkungan. Pendekatan tersebut diharapkan dapat memberikan informasi teknis mengenai karakteristik panel monokristalin dan polikristalin serta menjadi pertimbangan dalam pemilihan teknologi *photovoltaic* pada lokasi yang memiliki potensi terjadinya *shading*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Energi Surya dan Teknologi *Photovoltaic*

Energi surya merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang berasal dari radiasi matahari dan memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik. Pemanfaatan energi surya dilakukan melalui teknologi *photovoltaic* (PV), yaitu proses konversi energi surya menjadi energi listrik melalui material semikonduktor [2], [7]. Modul *photovoltaic* tersusun atas sejumlah sel surya yang dihubungkan secara seri maupun paralel. Besarnya energi listrik yang dihasilkan dipengaruhi oleh kondisi radiasi matahari dan suhu. Intensitas radiasi yang lebih tinggi dapat meningkatkan arus keluaran panel, sedangkan peningkatan suhu dapat menurunkan tegangan keluaran panel.

2.2. Panel Surya Monokristalin dan Polikristalin

Panel surya monokristalin dan polikristalin merupakan jenis panel *photovoltaic* yang digunakan dalam penelitian ini. Panel monokristalin tersusun dari sel *photovoltaic* berbahan silikon kristal tunggal dengan susunan atom yang seragam sehingga mampu mengubah energi surya menjadi energi listrik dengan efisiensi yang tinggi. Sementara itu, panel polikristalin tersusun dari sel *photovoltaic* berbahan kristal silikon yang beragam dan memiliki nilai jual yang lebih ekonomis serta efisiensi yang cenderung lebih stabil dibandingkan panel monokristalin [8], [9]. Perbedaan karakteristik kedua jenis panel tersebut dapat menyebabkan perbedaan kinerja ketika panel beroperasi pada kondisi lingkungan yang berbeda.

2.3. Pengaruh Intensitas Radiasi dan Suhu terhadap Kinerja Panel Surya

Intensitas radiasi matahari dan suhu merupakan faktor lingkungan yang memengaruhi kinerja panel surya. Semakin tinggi intensitas cahaya matahari, semakin besar arus keluaran yang dihasilkan oleh panel surya. Sebaliknya, peningkatan suhu lingkungan dapat menyebabkan penurunan tegangan keluaran panel. Perubahan kedua parameter tersebut selanjutnya dapat memengaruhi daya keluaran dan efisiensi panel surya. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa intensitas cahaya dan suhu memiliki pengaruh terhadap daya keluaran dan efisiensi panel surya [2].

2.4. *Shading* pada Panel Surya

Shading merupakan kondisi ketika sebagian atau seluruh permukaan panel surya terhalang oleh bayangan sehingga menyebabkan perbedaan intensitas cahaya matahari yang diterima oleh panel. Kondisi tersebut menyebabkan distribusi radiasi matahari pada panel surya menjadi tidak merata dan dapat memengaruhi kinerja keluaran panel [10]. *Shading* dapat berasal dari berbagai objek di sekitar panel, seperti pepohonan, bangunan, tiang, maupun objek lainnya. Keberadaan *shading* menjadi salah satu faktor yang dapat menyebabkan penurunan kinerja panel surya.

2.5. Kinerja Panel Surya

Kinerja panel surya merupakan kemampuan modul *photovoltaic* dalam mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik yang dapat dimanfaatkan. Kinerja panel surya dapat dilihat berdasarkan beberapa parameter, yaitu daya keluaran, tegangan, arus, dan efisiensi panel surya. Nilai kinerja panel dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti intensitas radiasi matahari dan suhu serta adanya gangguan seperti *shading*. Parameter tersebut digunakan dalam penelitian ini untuk membandingkan kinerja panel surya monokristalin dan polikristalin pada kondisi normal dan kondisi *shading*.

2.6. Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk menganalisis kinerja panel surya berdasarkan kondisi lingkungan. Penelitian oleh Hasrul [1] mengenai efisiensi panel surya sebagai energi alternatif melakukan pengukuran arus dan tegangan panel surya. Penelitian oleh Maulana [8] menganalisis pengaruh intensitas cahaya

matahari terhadap daya keluaran panel surya dengan menggunakan panel polikristalin. Sementara itu, penelitian [2] membandingkan efisiensi panel surya polikristalin dan monokristalin pada kondisi iklim tropis dengan mengukur daya keluaran, tegangan, arus, suhu, dan intensitas cahaya matahari.

Penelitian terdahulu tersebut menunjukkan bahwa intensitas cahaya matahari, suhu, dan jenis panel merupakan faktor yang berkaitan dengan kinerja panel surya. Namun, penelitian tersebut belum membandingkan kinerja panel surya monokristalin dan polikristalin pada kondisi normal dan kondisi *shading*. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis dan membandingkan kinerja kedua jenis panel berdasarkan kondisi normal dan *shading* dengan mengamati intensitas cahaya matahari, suhu, tegangan, arus, daya keluaran, dan efisiensi.

3. METODE PENELITIAN

3.1. Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan pendekatan kuantitatif. Penelitian dilakukan melalui pengujian langsung terhadap panel surya monokristalin dan polikristalin untuk memperoleh data kuantitatif mengenai kinerja panel pada kondisi normal dan kondisi *shading*. Tahapan penelitian meliputi studi literatur, pembuatan mock-up, pengumpulan data, analisis data, dan penarikan kesimpulan.

Tahap studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan dan menelaah teori serta hasil penelitian sebelumnya yang relevan dengan energi surya, panel *photovoltaic*, dan *shading*. Selanjutnya dilakukan pembuatan mock-up sistem pembangkit listrik tenaga surya sebagai media pengujian. Tahap pengumpulan data dilakukan dengan mengukur intensitas cahaya matahari, suhu permukaan panel, serta keluaran panel berupa tegangan dan arus. Data tersebut kemudian dianalisis untuk membandingkan tegangan, arus, daya, dan efisiensi panel monokristalin dan polikristalin pada kondisi normal dan *shading*. Tahap terakhir adalah penarikan kesimpulan berdasarkan hasil analisis.

Penelitian dilaksanakan di lantai 4 Kelas Alpha Kampus Politeknik Penerbangan Makassar, Biringkanaya, Kota Makassar. Pengujian dilakukan selama dua hari, yaitu

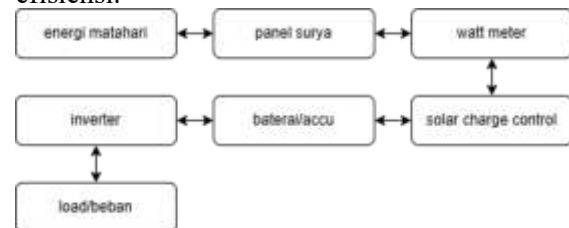
pada 20 Juli 2026 untuk kondisi normal dan 25 Juli 2026 untuk kondisi *shading*. Pengambilan data dilakukan pada pukul 08.00–16.00 WITA dengan interval pengukuran setiap satu jam.

3.2. Rancangan Sistem

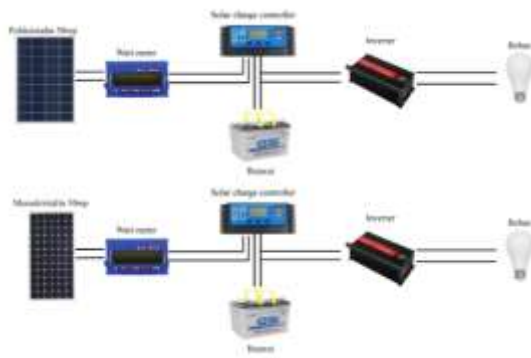
Penelitian menggunakan mock-up sistem pembangkit listrik tenaga surya yang terdiri atas dua sistem pengujian yang bekerja secara terpisah, yaitu sistem panel surya monokristalin dan sistem panel surya polikristalin. Kedua sistem dirancang dengan spesifikasi yang sama sehingga kinerja kedua jenis panel dapat dibandingkan pada kondisi pengujian yang sama.

Setiap sistem terdiri atas panel surya, watt meter, *solar charge controller* (SCC), baterai/aki, inverter, dan beban. Panel surya berfungsi mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik DC melalui efek *photovoltaic*. Watt meter digunakan untuk mengukur tegangan dan arus yang dihasilkan panel surya. SCC berfungsi mengatur aliran listrik dari panel surya menuju baterai, sedangkan baterai/aki digunakan untuk menyimpan energi listrik. Inverter mengubah arus listrik DC dari baterai menjadi AC untuk digunakan oleh beban.

Pengujian dilakukan pada dua kondisi, yaitu kondisi normal tanpa *shading* dan kondisi *shading*. Perbandingan kedua kondisi tersebut digunakan untuk mengetahui perubahan kinerja panel monokristalin dan polikristalin berdasarkan tegangan, arus, daya keluaran, dan efisiensi.



Gambar 1 Blok diagram



Gambar 2 Perancangan alat

3.3. Spesifikasi Panel Surya

Panel surya yang digunakan terdiri atas panel monokristalin merek ST SOLAR dan panel polikristalin merek INSCOM, masing-masing berkapasitas 50 Wp. Spesifikasi kedua panel ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Spesifikasi panel surya

No	Parameter	Panel Monokristalin	Panel Polikristalin
1	Jenis panel	Monokristalin	Polikristalin
2	Daya maksimum (Pmax)	50 W	50 W
3	Tegangan maksimum (Vmp)	18,24 V	18 V
4	Arus maksimum (Imp)	2,75 A	2,45 A
5	Tegangan open circuit (Voc)	21,8 V	20,2 V
6	Arus short circuit (Isc)	2,87 A	2,62 A
7	Tegangan sistem maksimum	1000 V DC	715 V DC
8	Dimensi panel	670 x 400 mm	670 x 535 mm

3.4. Teknik Pengujian dan Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui observasi langsung dan eksperimen terhadap panel surya monokristalin dan polikristalin. Pengujian dilakukan pada dua kondisi, yaitu kondisi normal dan kondisi *shading*.

Pada kondisi normal, panel surya menerima energi matahari secara langsung tanpa adanya objek yang menghalangi permukaan panel. Pada kondisi *shading*, seluruh permukaan panel diberikan perlakuan menggunakan jaring paranet sebagai media penghalang yang menimbulkan bayangan.

Pengujian kondisi normal dilakukan pada 20 Juli 2026, sedangkan pengujian kondisi *shading* dilakukan pada 25 Juli 2026. Kedua pengujian dilakukan pada pukul 08.00–16.00 WITA dengan interval pengambilan data setiap satu jam. Pengukuran dilakukan terhadap intensitas cahaya matahari, suhu permukaan panel, tegangan, arus, daya, dan efisiensi panel surya monokristalin dan polikristalin.

3.5. Teknik Analisis Data

Data hasil pengukuran berupa intensitas cahaya matahari, suhu, tegangan, dan arus dicatat dan disusun dalam bentuk tabel. Data tersebut kemudian digunakan untuk menganalisis kinerja panel surya monokristalin dan polikristalin pada kondisi normal dan *shading*.

Daya keluaran panel surya dihitung berdasarkan tegangan dan arus menggunakan persamaan:

$$P = V \times I$$

dengan P adalah daya (W), V adalah tegangan (V), dan I adalah arus (A).

Efisiensi panel surya dihitung untuk mengetahui kemampuan panel dalam mengubah energi cahaya menjadi energi listrik. Efisiensi dihitung dengan membandingkan daya keluaran terhadap daya input dari intensitas cahaya yang diterima panel menggunakan persamaan:

$$\eta = \frac{P_{\text{output}}}{E \times A} \times 100\%$$

dengan η adalah efisiensi panel surya (%), P_{output} adalah daya keluaran maksimum panel (W), E adalah intensitas cahaya matahari (W/m^2), dan A adalah luas permukaan panel surya (m^2).

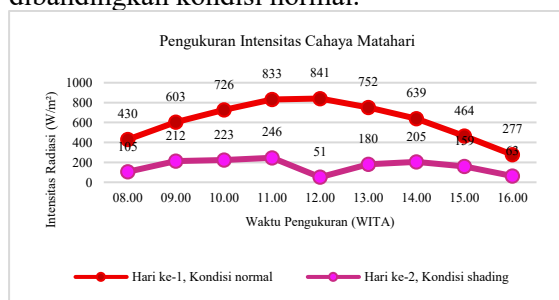
Hasil analisis disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk menunjukkan hubungan antara intensitas cahaya matahari, suhu, tegangan, arus, daya keluaran, dan efisiensi panel surya. Hasil tersebut kemudian digunakan untuk membandingkan kinerja panel monokristalin dan polikristalin pada kondisi normal dan kondisi *shading*.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian dilakukan di Politeknik Penerbangan Makassar untuk menganalisis pengaruh *shading* terhadap kinerja panel surya monokristalin ST SOLAR 50 Wp dan polikristalin INSCOM 50 Wp. Pengujian dilakukan selama dua hari, yaitu pada kondisi normal dan kondisi *shading*, dengan pengambilan data setiap satu jam mulai pukul 08.00 hingga 16.00 WITA. Parameter yang diamati meliputi intensitas radiasi matahari, suhu panel, tegangan, arus, daya keluaran, dan efisiensi.

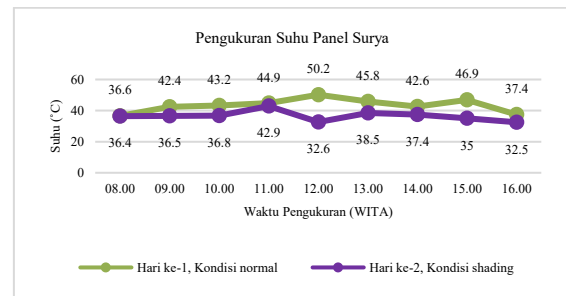
4.1. Karakteristik Intensitas Radiasi dan Suhu Panel Surya

Hasil pengukuran menunjukkan adanya perbedaan kondisi radiasi yang cukup besar antara pengujian normal dan *shading*. Pada kondisi normal, intensitas radiasi matahari berada pada rentang 277–841 W/m² dan mencapai nilai tertinggi sebesar 841 W/m² pada pukul 12.00 WITA. Sementara itu, pada kondisi *shading*, intensitas radiasi yang diterima panel berada pada rentang 51–246 W/m² dengan nilai tertinggi sebesar 246 W/m² pada pukul 11.00 WITA. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa pemberian bayangan pada permukaan panel berhasil menghasilkan kondisi penerimaan radiasi yang lebih rendah dibandingkan kondisi normal.



Gambar 3 Pengukuran Intensitas Radiasi

Pada kondisi normal, peningkatan intensitas radiasi umumnya diikuti oleh peningkatan suhu permukaan panel. Suhu tertinggi tercatat sebesar 50,2 °C pada pukul 12.00 WITA ketika intensitas radiasi mencapai 841 W/m². Pada kondisi *shading*, suhu panel lebih rendah dan berada pada rentang 32,5–42,9 °C. Suhu tertinggi pada kondisi tersebut sebesar 42,9 °C pada pukul 11.00 WITA.



Gambar 4 Pengukuran suhu panel surya

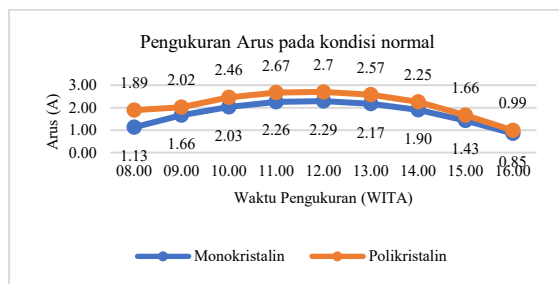
Perbedaan karakteristik radiasi dan suhu tersebut menjadi dasar untuk menganalisis perubahan parameter listrik panel surya. Intensitas radiasi terutama berkaitan dengan besarnya arus yang dihasilkan, sedangkan suhu panel berpengaruh terhadap karakteristik tegangan keluaran. Oleh karena itu, analisis selanjutnya difokuskan pada hubungan antara kedua parameter lingkungan tersebut dengan keluaran listrik panel.

4.2. Pengaruh Intensitas Radiasi Matahari terhadap Arus Keluaran

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa arus keluaran panel surya memiliki kecenderungan meningkat seiring dengan meningkatnya intensitas radiasi matahari. Pada kondisi normal, intensitas radiasi maksimum sebesar 841 W/m² menghasilkan arus sebesar 2,29 A pada panel monokristalin dan 2,70 A pada panel polikristalin. Sebaliknya, pada kondisi *shading*, intensitas radiasi maksimum hanya mencapai 246 W/m² sehingga arus maksimum yang dihasilkan turun menjadi 0,68 A pada panel monokristalin dan 0,55 A pada panel polikristalin.

Tabel 2 Hubungan antara Ir dan Im (Normal)

Ir (W/m ²)	Monokristalin (A)	Polikristalin (A)
430	1,13	1,89
603	1,66	2,02
726	2,03	2,46
833	2,26	2,67
841	2,29	2,70
752	2,17	2,57
639	1,90	2,25
464	1,43	1,66
277	0,85	0,99

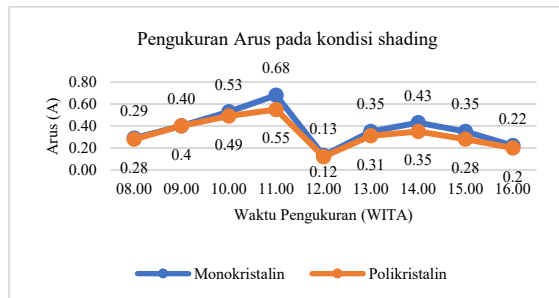


Gambar 5 Pengukuran arus pada kondisi normal

Pada kondisi *shading*, pola hubungan yang sama masih terlihat meskipun nilai arus yang dihasilkan jauh lebih rendah.

Tabel 3 Hubungan antara I_r dan I_m (*Shading*)

I_r (W/m^2)	Monokristalin (A)	Polikristalin (A)
105	0,29	0,28
212	0,40	0,40
223	0,53	0,49
246	0,68	0,55
51	0,13	0,12
230	0,35	0,31
205	0,43	0,35
159	0,35	0,28
63	0,22	0,20

Gambar 6 Pengukuran arus pada kondisi *shading*

Perbandingan tersebut menunjukkan bahwa penurunan intensitas radiasi akibat *shading* memberikan dampak yang kuat terhadap arus keluaran. Pada panel monokristalin, arus maksimum turun dari 2,29 A menjadi 0,68 A, sedangkan pada panel polikristalin turun dari 2,70 A menjadi 0,55 A. Dengan demikian, dibandingkan kondisi normal, arus maksimum mengalami penurunan sekitar 70,3% pada panel monokristalin dan 79,6% pada panel polikristalin.

Secara fisik, hubungan tersebut terjadi karena arus fotovoltaiik sangat dipengaruhi oleh jumlah foton yang diterima permukaan sel. Ketika intensitas radiasi meningkat, jumlah

foton yang tersedia untuk membangkitkan pasangan elektron-hole juga meningkat sehingga arus keluaran cenderung bertambah. Sebaliknya, *shading* mengurangi radiasi yang diterima sel sehingga arus yang dihasilkan mengalami penurunan.

Hasil ini sejalan dengan penelitian Zulkhakim dkk. [2] yang menunjukkan bahwa intensitas cahaya merupakan salah satu faktor utama yang memengaruhi arus dan daya keluaran panel surya. Harahap dkk. [6] juga menjelaskan bahwa peningkatan intensitas cahaya yang diterima permukaan panel menyebabkan peningkatan arus listrik yang dihasilkan oleh sel fotovoltaiik. Dengan demikian, hasil penelitian ini memperkuat temuan sebelumnya bahwa intensitas radiasi matahari memiliki hubungan positif terhadap arus keluaran panel surya.

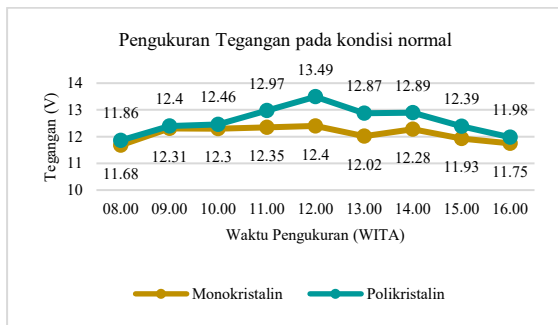
4.3. Pengaruh Suhu terhadap Tegangan Keluaran

Selain intensitas radiasi, suhu permukaan panel merupakan parameter lingkungan yang perlu diperhatikan karena memengaruhi karakteristik listrik sel fotovoltaiik. Pada penelitian ini, suhu panel pada kondisi normal berada pada rentang 36,6–50,2 °C, sedangkan pada kondisi *shading* berada pada rentang 32,5–42,9 °C.

Pada kondisi normal, panel polikristalin menghasilkan tegangan maksimum sebesar 13,49 V pada pukul 12.00 WITA, sedangkan panel monokristalin menghasilkan tegangan maksimum sebesar 12,40 V. Pada saat yang sama, suhu panel mencapai 50,2 °C dengan intensitas radiasi 841 W/m^2 .

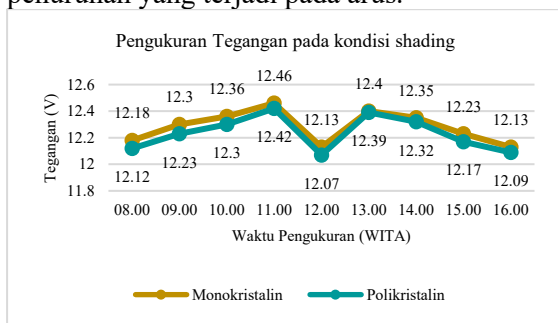
Tabel 4 Pengaruh Suhu, I_r , dan V_m (Normal)

I_r (W/m^2)	Suhu (°C)	Monokristalin (V)	Polikristalin (V)
430	36,6	11,68	11,86
603	42,4	12,31	12,40
726	43,2	12,30	12,46
833	44,9	12,35	12,97
841	50,2	12,40	13,49
752	45,8	12,02	12,87
639	42,6	12,28	12,89
464	46,9	11,93	12,39
277	37,4	11,75	11,98



Gambar 7 Pengukuran tegangan pada kondisi normal

Pada kondisi *shading*, tegangan relatif lebih stabil dibandingkan perubahan arus. Tegangan maksimum yang diperoleh adalah 12,46 V pada panel monokristalin dan 12,42 V pada panel polikristalin. Kondisi ini menunjukkan bahwa penurunan radiasi akibat *shading* tidak menyebabkan penurunan tegangan sebesar penurunan yang terjadi pada arus.



Gambar 8 Pengukuran tegangan pada kondisi *shading*

Karakteristik tersebut menunjukkan bahwa respons tegangan terhadap perubahan kondisi lingkungan berbeda dengan respons arus. Arus mengalami perubahan yang lebih besar ketika intensitas radiasi berubah, sedangkan tegangan relatif lebih stabil pada rentang pengujian. Suhu yang meningkat pada kondisi radiasi tinggi juga tidak secara langsung menghasilkan pola penurunan tegangan yang konsisten pada seluruh titik pengukuran. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan tegangan pada penelitian ini dipengaruhi oleh interaksi antara suhu, intensitas radiasi, dan karakteristik masing-masing panel.

Secara teoritis, peningkatan suhu sel fotovoltaik cenderung menurunkan tegangan rangkaian terbuka karena meningkatnya energi termal pada material semikonduktor. Hasil penelitian Zuhakim dkk. [2] juga menunjukkan bahwa kenaikan temperatur sel surya dapat

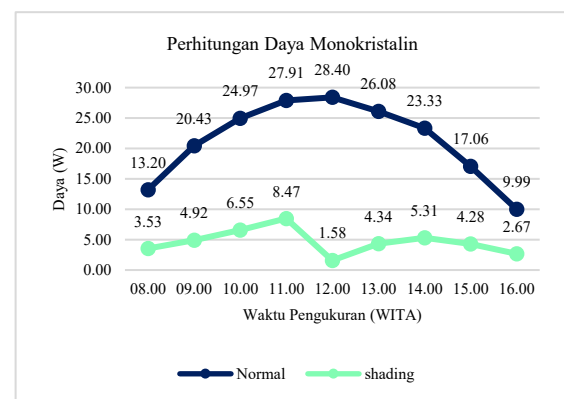
menyebabkan penurunan tegangan keluaran. Namun, pada penelitian ini hubungan antara suhu dan tegangan tidak menunjukkan pola linear yang kuat karena suhu panel berubah bersamaan dengan intensitas radiasi dan kondisi lingkungan lainnya. Oleh sebab itu, pengaruh suhu terhadap tegangan perlu dipahami sebagai salah satu faktor yang bekerja bersama parameter radiasi, bukan sebagai satu-satunya faktor penentu tegangan keluaran.

4.4. Pengaruh *Shading* terhadap Daya Keluaran dan Efisiensi

Pengaruh *shading* terhadap kinerja panel surya paling jelas terlihat pada perubahan daya keluaran. Daya keluaran diperoleh dari perkalian tegangan dan arus, sehingga penurunan arus akibat berkurangnya radiasi secara langsung menyebabkan penurunan daya yang dihasilkan panel.

Pada kondisi normal, panel monokristalin menghasilkan daya maksimum sebesar 28,40 W pada intensitas radiasi 841 W/m². Ketika mengalami *shading*, daya maksimum yang diperoleh hanya sebesar 8,47 W pada intensitas radiasi 246 W/m². Dengan demikian, daya maksimum panel monokristalin mengalami penurunan sekitar 70,2%.

Pada panel polikristalin, daya maksimum pada kondisi normal mencapai 36,42 W pada intensitas radiasi 841 W/m², sedangkan pada kondisi *shading* hanya mencapai 6,83 W pada intensitas radiasi 246 W/m². Penurunan tersebut setara dengan sekitar 81,3%.

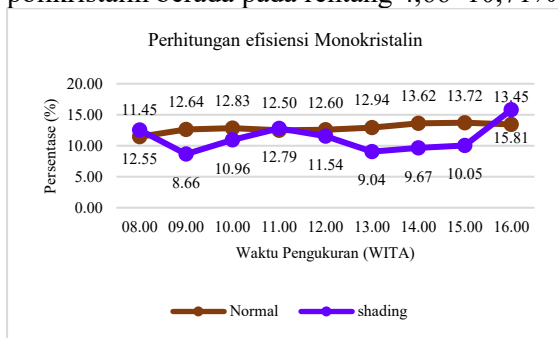


Gambar 9 Perhitungan daya monokristalin

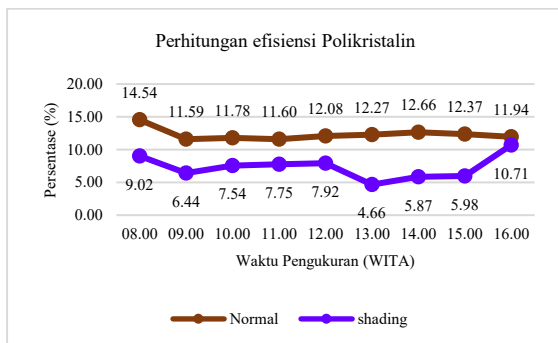
Perbandingan tersebut menunjukkan bahwa panel polikristalin menghasilkan daya lebih tinggi pada kondisi normal, tetapi mengalami penurunan daya yang lebih besar ketika terkena *shading*. Sebaliknya, panel monokristalin

menghasilkan daya maksimum yang lebih rendah pada kondisi normal, tetapi mampu mempertahankan proporsi keluaran yang lebih besar ketika intensitas radiasi berkurang akibat *shading*. Temuan ini menunjukkan bahwa jenis panel dapat memberikan respons yang berbeda terhadap kondisi penerimaan radiasi yang tidak seragam.

Selain daya keluaran, kinerja panel dianalisis berdasarkan efisiensi konversi energi. Pada kondisi normal, efisiensi panel monokristalin berada pada rentang 11,45–13,72%, sedangkan panel polikristalin berada pada rentang 11,59–14,54%. Pada kondisi *shading*, efisiensi panel monokristalin berada pada rentang 7,04–15,81%, sedangkan panel polikristalin berada pada rentang 4,66–10,71%.



Gambar 10 Perhitungan efisiensi monokristalin



Gambar 11 Perhitungan efisiensi polikristalin

Nilai efisiensi pada kondisi *shading* menunjukkan fluktuasi yang lebih besar dibandingkan kondisi normal. Fluktuasi tersebut tidak hanya dipengaruhi oleh jenis panel, tetapi juga oleh perubahan intensitas radiasi pada setiap waktu pengukuran. Nilai efisiensi maksimum yang lebih tinggi pada beberapa titik dengan radiasi rendah perlu diinterpretasikan secara hati-hati karena efisiensi merupakan rasio antara daya keluaran dan daya radiasi yang diterima panel. Oleh karena itu, nilai efisiensi pada satu titik

pengukuran tidak dapat digunakan secara tunggal untuk menyatakan bahwa panel tersebut secara keseluruhan lebih unggul.

Jika dilihat secara keseluruhan, panel monokristalin menunjukkan rata-rata efisiensi sekitar 11,01% pada kondisi *shading*, sedangkan panel polikristalin sekitar 7,32%. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa panel monokristalin memiliki kemampuan yang relatif lebih baik dalam mempertahankan konversi energi ketika intensitas radiasi berkurang akibat *shading*. Namun demikian, pada kondisi normal, panel polikristalin menghasilkan daya maksimum dan efisiensi maksimum yang lebih tinggi pada titik pengukuran tertentu.

Penurunan daya akibat *shading* dapat dijelaskan melalui berkurangnya penerimaan radiasi oleh sel fotovoltaik serta ketidakseragaman iluminasi antarbagian panel. Kondisi tersebut dapat menyebabkan *mismatch* antar sel dan menurunkan kemampuan panel dalam menghasilkan daya secara optimal. Temuan ini sejalan dengan Prabowo dan Sahroni [4] yang menyatakan bahwa *partial shading* dapat menurunkan efisiensi sistem fotovoltaik secara signifikan akibat *mismatch* antar sel. Nadhiroh dkk. [5] juga menunjukkan bahwa *shading* merupakan salah satu faktor lingkungan yang dapat menyebabkan penurunan daya keluaran panel surya.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa *shading* memberikan pengaruh paling nyata terhadap arus dan daya keluaran, sedangkan tegangan relatif lebih stabil. Panel polikristalin memiliki keluaran daya lebih tinggi pada kondisi normal, tetapi mengalami penurunan daya yang lebih besar ketika terkena *shading*. Sebaliknya, panel monokristalin menunjukkan kemampuan yang relatif lebih baik dalam mempertahankan keluaran daya dan efisiensi pada kondisi radiasi yang rendah. Dengan demikian, pemilihan jenis panel untuk instalasi di lapangan tidak hanya perlu mempertimbangkan daya nominal, tetapi juga kondisi lingkungan dan potensi terjadinya bayangan pada lokasi pemasangan.

Dari sisi teoritis, hasil penelitian memperkuat pemahaman bahwa intensitas radiasi merupakan faktor dominan dalam menentukan arus dan daya keluaran panel surya, sedangkan suhu berperan terhadap karakteristik tegangan. Dari sisi implementasi,

hasil penelitian memberikan pertimbangan bahwa instalasi panel surya perlu dirancang dengan memperhatikan potensi *shading*, terutama pada lokasi yang memiliki objek penghalang seperti bangunan, pepohonan, tiang, atau struktur lainnya. Pengurangan potensi bayangan dapat membantu mempertahankan kinerja sistem fotovoltaik dan meningkatkan pemanfaatan energi surya.

5. KESIMPULAN

- a. *Shading* memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kinerja panel surya monokristalin ST SOLAR 50 Wp dan polikristalin INSCOM 50 Wp, terutama terhadap arus dan daya keluaran. Pada kondisi normal, intensitas radiasi mencapai 841 W/m², sedangkan pada kondisi *shading* hanya mencapai 246 W/m². Penurunan intensitas radiasi tersebut menyebabkan arus maksimum panel monokristalin turun dari 2,29 A menjadi 0,68 A dan panel polikristalin dari 2,70 A menjadi 0,55 A.
- b. Pengaruh *shading* terhadap daya keluaran lebih besar dibandingkan terhadap tegangan. Daya maksimum panel monokristalin menurun dari 28,40 W pada kondisi normal menjadi 8,47 W pada kondisi *shading*, atau mengalami penurunan sekitar 70,2%. Pada panel polikristalin, daya maksimum menurun dari 36,42 W menjadi 6,83 W atau sekitar 81,3%. Sementara itu, tegangan relatif lebih stabil meskipun terjadi perubahan intensitas radiasi dan suhu panel.
- c. Panel polikristalin menunjukkan kinerja keluaran yang lebih tinggi pada kondisi normal, dengan daya maksimum 36,42 W dan efisiensi maksimum 14,54%. Namun, panel tersebut mengalami penurunan daya yang lebih besar ketika terkena *shading*. Sebaliknya, panel monokristalin memiliki kemampuan yang relatif lebih baik dalam mempertahankan kinerja pada kondisi radiasi rendah, ditunjukkan oleh rata-rata efisiensi sekitar 11,01% pada kondisi *shading* dibandingkan sekitar 7,32% pada panel polikristalin. Dengan demikian, kelebihan panel polikristalin terletak pada keluaran daya yang lebih tinggi pada kondisi radiasi normal,

sedangkan panel monokristalin menunjukkan ketahanan relatif lebih baik terhadap kondisi radiasi rendah.

- d. Keterbatasan penelitian ini adalah pengujian dilakukan dalam periode yang relatif singkat dan pada kondisi lingkungan yang berubah secara alami, sehingga hubungan antara suhu, intensitas radiasi, dan tegangan belum dapat menggambarkan pengaruh masing-masing variabel secara sepenuhnya terpisah. Selain itu, pengujian *shading* belum mencakup berbagai tingkat luas atau pola bayangan yang berbeda. Penelitian selanjutnya dapat dikembangkan dengan memperpanjang periode pengujian, menggunakan variasi persentase dan pola *shading*, serta menambahkan analisis karakteristik I-V dan P-V untuk memperoleh gambaran yang lebih komprehensif mengenai respons panel monokristalin dan polikristalin terhadap kondisi *shading*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Penerbangan Makassar yang telah memberikan dukungan dan fasilitas selama pelaksanaan penelitian. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam proses pengambilan data, pengujian panel surya, serta penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Hasrul, "Analisis Efisiensi Panel Surya Sebagai Energi Alternatif," *SainETIn (Jurnal Sain, Energi, Teknol. Ind.)*, vol. 5, no. 2, pp. 79–87, 2021, doi: <https://doi.org/10.31849/sainetin.v5i2.7024>.
- [2] Zulhakim, "Analisis Perbandingan Efisiensi Panel Surya Polikristalin Dan Monokristalin Dalam Kondisi Iklim Tropis," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 13, no. 3S1, pp. 431–439, 2025, doi: <https://doi.org/10.23960/jitet.v13i3S1.7668>.
- [3] D. Ahmad, R. Ridho, and M. A. Putra, "Analisis Pengaruh Sudut Kemiringan Panel Surya Terhadap Penerimaan Iradiasi Matahari Dan Daya Keluaran Yang Dihasilkan," *PoliGrid*, vol. 04, no. 01, pp. 25–31, 2023, doi: <https://doi.org/10.46964/poligrid.v4i1.18>.
- [4] W. H. Prabowo, H. Setiawan, and A. Sahroni, "Mengatasi Kondisi Partial *Shading* Pada Kinerja Sistem Panel Surya: Kajian Literatur,"

- J. ELKON*, vol. 5, no. 1, pp. 15–25, 2025, doi: <https://doi.org/10.24176/elkon.v5i1.15545>.
- [5] N. Nadhiroh, D. A. Nugroho, and A. Imaduddin, “Peningkatan efisiensi sistem PLTS melalui optimasi susunan array panel surya,” *J. ELTEK*, vol. 21, no. 2, pp. 50–57, 2023, doi: [10.33795/eltek.v21i2.3191](https://doi.org/10.33795/eltek.v21i2.3191).
- [6] P. Harahap, I. Bustami, and B. Oktrialdi, “Pengaruh Intensitas Cahaya Matahari Dan Suhu Terhadap Daya Yang Dikeluarkan Oleh Modul Sel Surya Monocrystalline Dan Polycrystalline,” *J. Mesil (Mesin, Elektro, Sipil)*, vol. 3, no. 3, pp. 1–5, 2022, doi: <https://doi.org/10.53695/jm.v3i2.791>.
- [7] A. Kharisma, S. Pinandita, and A. E. Jayanti, “Literature Review: Kajian Potensi Energi Surya Alternatif Energi Listrik,” *JEBT J. Energi Baru Terbarukan*, vol. 5, no. 2, pp. 145–154, 2024, doi: <https://doi.org/10.14710/jebt.2024.23956>.
- [8] M. Y. Maulana, B. P. Jati, and I. Widiastuti, “Analisa Perbandingan Efisiensi Konversi Energi Antara PV (*Photovoltaic*) Monocrystalline 50 WP dan Polycrystalline 50 WP pada Berbagai Intensitas Cahaya,” *Cyclotr. J. Tek. Elektro*, vol. 7, no. 02, pp. 3–9, 2024, doi: <https://doi.org/10.30651/cl.v7i02.21821>.
- [9] A. A. Nugroho, H. Isyanto, and W. Ibrahim, “Analisa Perbandingan Kinerja Panel Surya Jenis Monocrystalline dan Thin Film,” *Resist. (Elektronika Kendali Telekomun. Tenaga List. Komputer)*, vol. 7, no. 1, pp. 1–8, 2024, doi: <https://doi.org/10.24853/resistor.7.1.51-58>.
- [10] W. Setiawan and R. A. Pradana, “Optimasi Pengisian Daya Panel Surya MPPT dengan Kontrol Proportional Integral Derivative,” *Susilo Wind. Setiawan Rizki Ade Pradana*, vol. 04, no. 02, pp. 34–36, 2022, doi: <https://doi.org/10.36526/ztr.v4i2.2058>.