

BAB IV HASIL DAN ANALISA

4.1 Perhitungan Parameter *Boost Converter*

Untuk memperoleh parameter yang sesuai pada rangkaian boost converter, langkah awal yang dilakukan adalah menentukan nilai induktor (L) dan kapasitor (C). Pada penelitian ini, tegangan masukan yang digunakan merupakan tegangan open-circuit dari modul photovoltaic sebesar 37,2 V, sedangkan tegangan keluaran yang diharapkan adalah 39,2 V. Daya yang disuplai ke rangkaian boost converter berasal dari sistem photovoltaic dengan besaran daya sebesar 315 W, dan frekuensi pensaklaran yang digunakan dalam perancangan ditetapkan sebesar 18 kHz.

Untuk mencari nilai dari *duty cycle boost converter* dapat digunakan persamaan (3.1) berikut:

$$D = 1 - \frac{V_{in}}{V_{out}} = 1 - \frac{37,2}{39,2} = 1 - 0,69 = 0,051$$

Selanjutnya dicari nilai beban dari konverter menggunakan persamaan (3.2) berikut:

$$R = \frac{V_{out}}{I_{out}} = \frac{39,2}{8,48} = 4,622\Omega$$

Kemudian, untuk mencari nilai induktor yang digunakan pada *boost converter* menggunakan persamaan (3.3) dan (3.4) berikut:

$$L_{min} = \frac{D(1-D)^2}{2f} \times R = \frac{0,051(1-0,051)^2}{2(18000)} \times 4,622 = 5,896 \times 10^{-6}H$$

$$L = 10 \times L_{min} = 10 \times 5,896 \times 10^{-6} = 0,058 \text{ mH}$$

Untuk nilai kapasitor converter dapat digunakan persamaan (3.5) sebagai berikut:

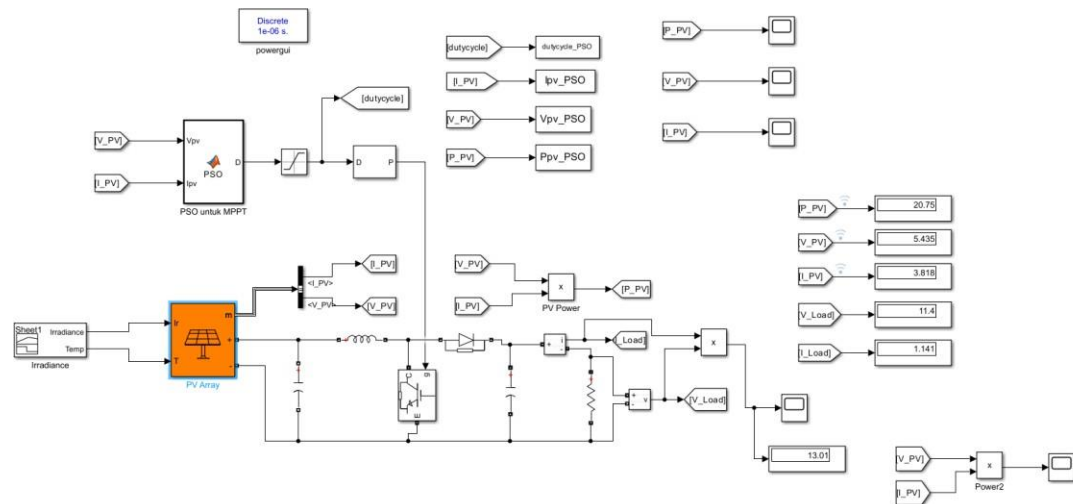
$$C = \frac{V_{out}D}{R\Delta V f} = \frac{39,2 \times 0,051}{4,622 \times 0,39 \times 18000} = 0,000061F$$

Tabel 4. 1 Parameter *Boost Converter*

No	Parameter	Nilai
1	Vin	37,2 V
2	Vout	39,2 V
3	L	$5,896 \times 10^{-5}H$
4	C	$0,61 \times 10^{-5}f$

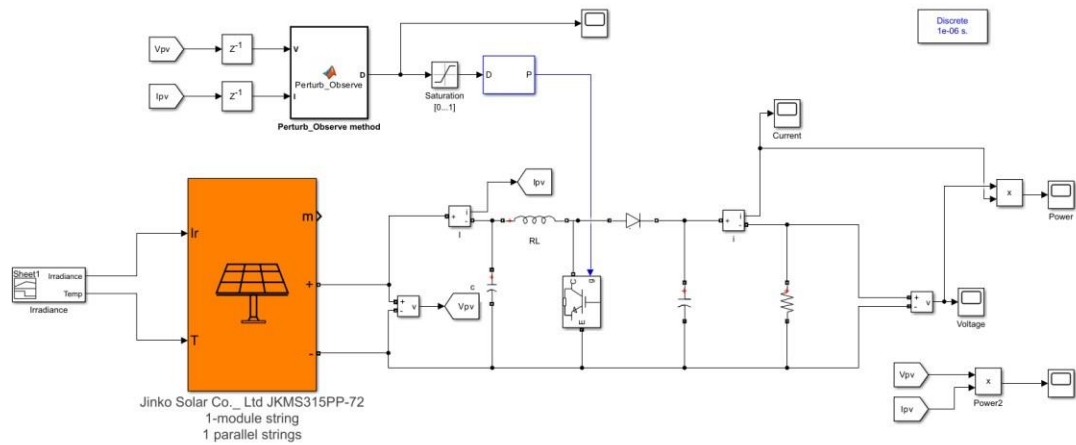
4.2 Pemodelan sistem

Sistem dirancang pada aplikasi MATLAB/Simulink untuk 2 metode PSO dan P&O. permodelan ini dilakukan untuk menguji secara langsung untuk menganalisa secara langsung perbandingan metode PSO dan PNO dalam menghasilkan *duty cycle*.



Gambar 4. 1 Rangkaian simulasi *Particle Swarm Optimization*

Gambar 4.1 menyajikan blok Simulink yang merepresentasikan sistem panel surya dengan berbasis algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO). terdiri dari tiga subsistem utama, blok Panel Surya yang berfungsi sebagai sumber daya dan menerima input kondisi lingkungan berupa *Irradiance* (G) dan Suhu (T), Konverter Boost DC-DC yang berperan untuk menyesuaikan dan menaikkan tegangan yang dihasilkan oleh panel sebelum disalurkan ke beban. dan Kontroler MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) yang diimplementasikan menggunakan algoritma PSO. Input data lingkungan *Irradiance* dan suhu disimulasikan sebagai sinyal deret waktu diskrit yang dimasukkan melalui blok input *irradiance* dan input suhu. Algoritma PSO yang tertanam dalam blok PSO untuk MPPT bertugas secara adaptif menentukan rasio *duty cycle* optimal dari Konverter Boost dengan memonitor daya, tegangan, dan arus panel, guna memastikan ekstraksi daya maksimum dilakukan secara berkelanjutan saat terjadi perubahan drastis pada kondisi atmosfer, dan output daya akhir diukur melalui blok *Scope* untuk analisis kinerja sistem.

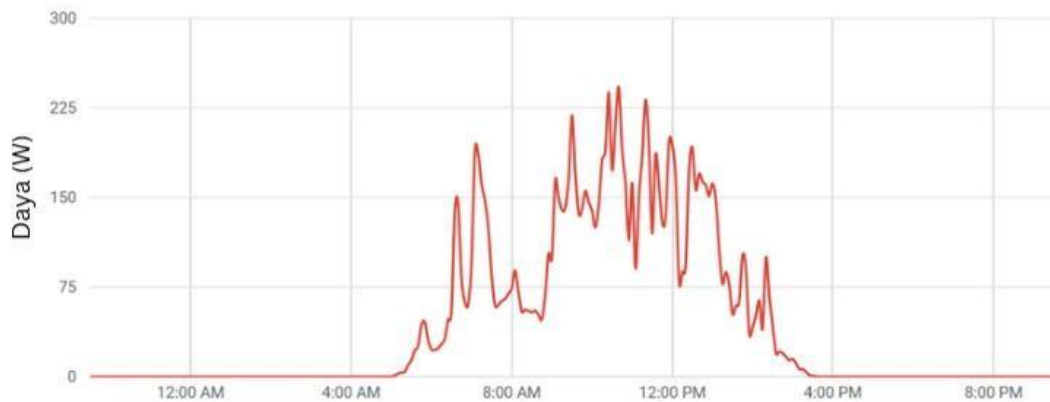


Gambar 4. 2 Rangkaian Simulasi Perturb and Observe

Gambar 4.2 menyajikan blok Simulink yang merepresentasikan sistem panel surya dengan berbasis algoritma *Perturb and Observe* (P&O). Rangkaian simulasi ini terdiri dari tiga subsistem utama, yaitu blok panel surya sebagai sumber daya yang menerima input kondisi lingkungan berupa *irradiance* (G) dan suhu (T), konverter *Boost DC-DC* yang berfungsi menaikkan serta menyesuaikan tegangan keluaran panel, dan kontroler MPPT metode *Perturb and Observe*. Berbeda dengan metode PSO pada Gambar 4.2 yang menggunakan proses optimasi partikel untuk menentukan nilai *duty cycle*, metode P&O bekerja dengan memberikan perturbasi atau perubahan kecil secara bertahap pada tegangan dan daya panel untuk mencari titik daya maksimum.

4.3 Sumber Data

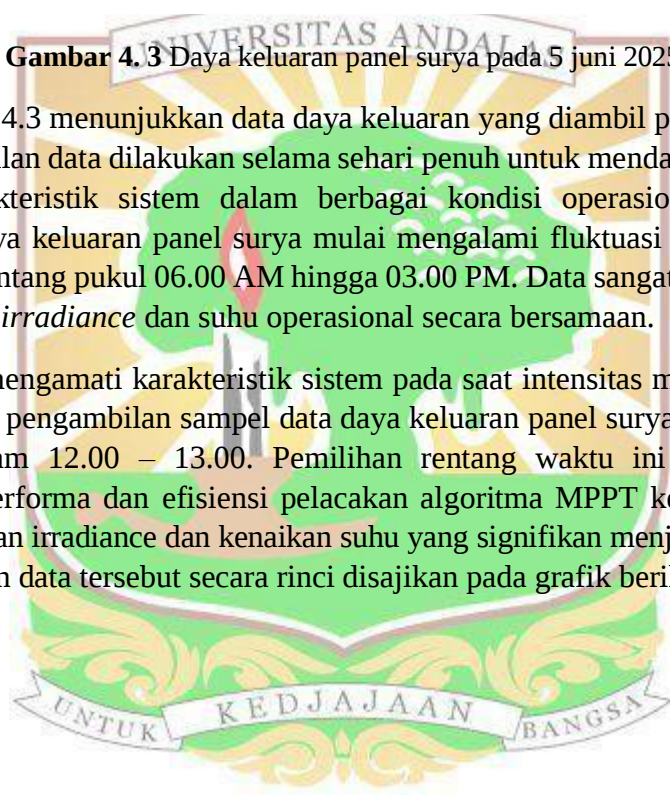
Pada penelitian ini, data daya keluaran panel surya diambil secara khusus pada tanggal 5 Juni 2025. Pengambilan data tersebut dilakukan selama satu hari penuh guna mendapatkan gambaran yang komprehensif mengenai karakteristik sistem dalam berbagai kondisi operasional.



Gambar 4.3 Daya keluaran panel surya pada 5 juni 2025.

Gambar 4.3 menunjukkan data daya keluaran yang diambil pada tanggal 5 juni 2025. Pengambilan data dilakukan selama sehari penuh untuk mendapatkan Gambaran mengenai karakteristik sistem dalam berbagai kondisi operasional. Berdasarkan gambar 4.3, daya keluaran panel surya mulai mengalami fluktuasi naik turun secara ekstrem pada rentang pukul 06.00 AM hingga 03.00 PM. Data sangat dipengaruhi oleh perubahan nilai *irradiance* dan suhu operasional secara bersamaan.

Untuk mengamati karakteristik sistem pada saat intensitas matahari mencapai kondisi puncak, pengambilan sampel data daya keluaran panel surya dilakukan secara spesifik dari jam 12.00 – 13.00. Pemilihan rentang waktu ini bertujuan untuk menganalisis performa dan efisiensi pelacakan algoritma MPPT ketika menghadapi transisi perubahan *irradiance* dan kenaikan suhu yang signifikan menjelang tengah hari. Hasil perekaman data tersebut secara rinci disajikan pada grafik berikut.

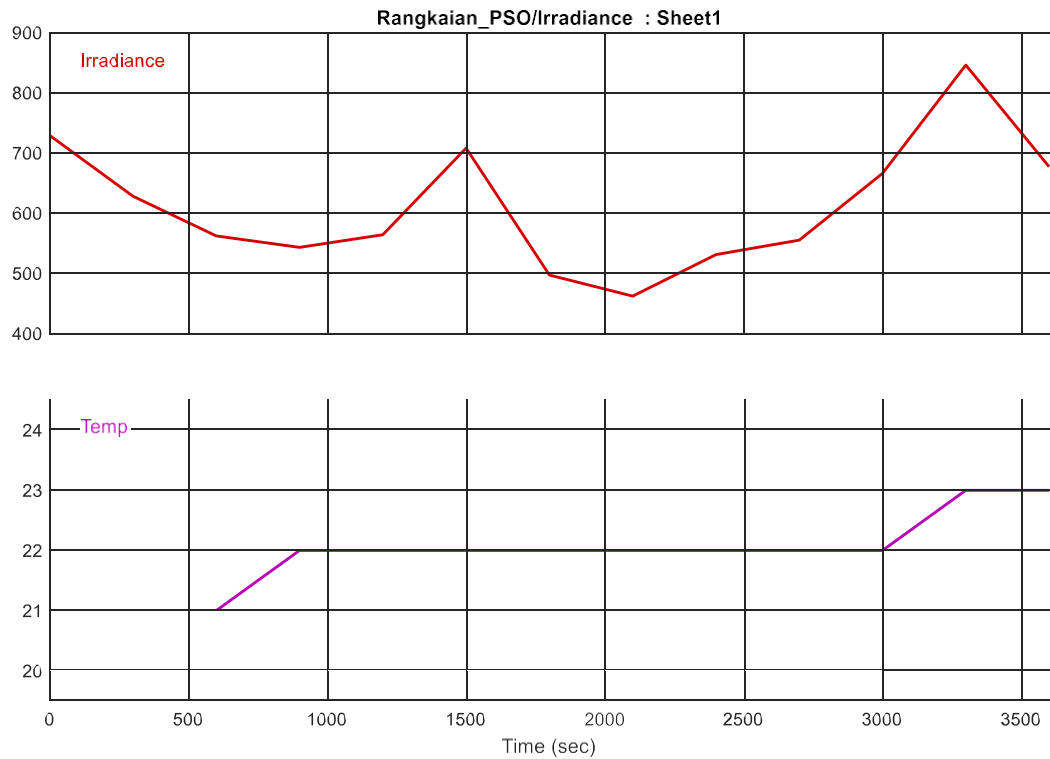




Gambar 4. 4 Daya keluaran panel surya selama satu jam.

Pada Gambar 4.4 menunjukkan data daya keluaran selama satu jam. Data tersebut menunjukkan adanya pola penurunan dan lonjakan daya yang terjadi secara cepat dalam hitungan menit yang disebabkan oleh kondisi lingkungan yang berubah-ubah. Penelitian yang saya lakukan adalah membandingkan data daya ini dengan menggunakan algoritma PSO dan P&O untuk membandingkan seberapa optimal kedua metode tersebut dalam mencari titik daya maksimum.

Untuk penelitian ini saya juga mengambil data *irradiance* dan suhu untuk menganalisis pengaruh dari kondisi lingkungan terhadap panel selama satu jam. Parameter ini diambil untuk mengamati Tingkat efisiensi algoritma MPPT.



Gambar 4. 5 Data *irradiance* dan suhu selama satu jam

Tabel 4. 2 Data Pengukuran *irradiance*, suhu, dan daya selama satu jam

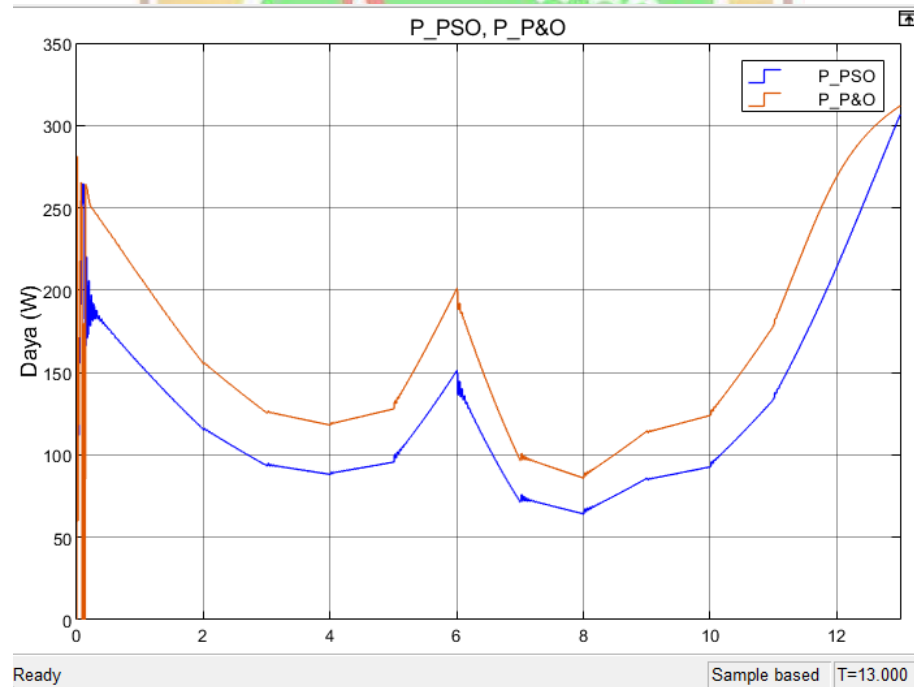
Timestamp	<i>Irradiance</i>	Suhu	Daya
12:00	729	21	218
12:05	628	21	172
12:10	562	21	138
12:15	543	22	142
12:20	564	22	157
12:25	708	22	149
12:30	497	22	142
12:35	462	22	128
12:40	531	22	145
12:45	555	22	182
12:50	666	22	191
12:55	846	23	238
13:00	677	23	175

Karakter kondisi lingkungan berupa intensitas cahaya matahari (*irradiance*) dan suhu operasional modul juga diambil selama satu jam penuh, Gambar 4.5 dan Tabel 4.2 menunjukkan nilai dari inputan panel surya *irradiance* dan *suhu*, dan output panel

surya berupa data daya. Data ini digunakan sebagai parameter input utama dalam simulasi sistem MPPT pada perangkat lunak MATLAB/Simulink. Penggunaan variasi data ini adalah untuk menguji, membandingkan, serta memvalidasi performa dari algoritma PSO dan P&O Ketika dihadapkan pada perubahan kondisi lingkungan.

4.4 Analisa Grafik Respon sistem Daya Panel Surya Dengan Menggunakan Metode PSO dan P&O

Untuk mengevaluasi efektivitas dan performa dari masing-masing algoritma pelacakan titik daya maksimum yang telah dirancang, dilakukan pengujian simulasi berskala dinamis menggunakan perangkat lunak MATLAB. Pengujian ini bertujuan untuk menganalisis serta membandingkan respons pelacakan daya antara metode konvensional Perturb and Observe dengan metode berbasis kecerdasan komputasi Particle Swarm Optimization pada model panel surya berkapasitas 315 WP saat dihadapkan pada fluktuasi kondisi lingkungan. Karakteristik pergerakan dan perilaku kurva daya keluaran secara makro dari kedua metode tersebut terhadap dinamika operasi sistem dapat diamati melalui grafik hasil simulasi yang disajikan pada gambar di bawah ini.



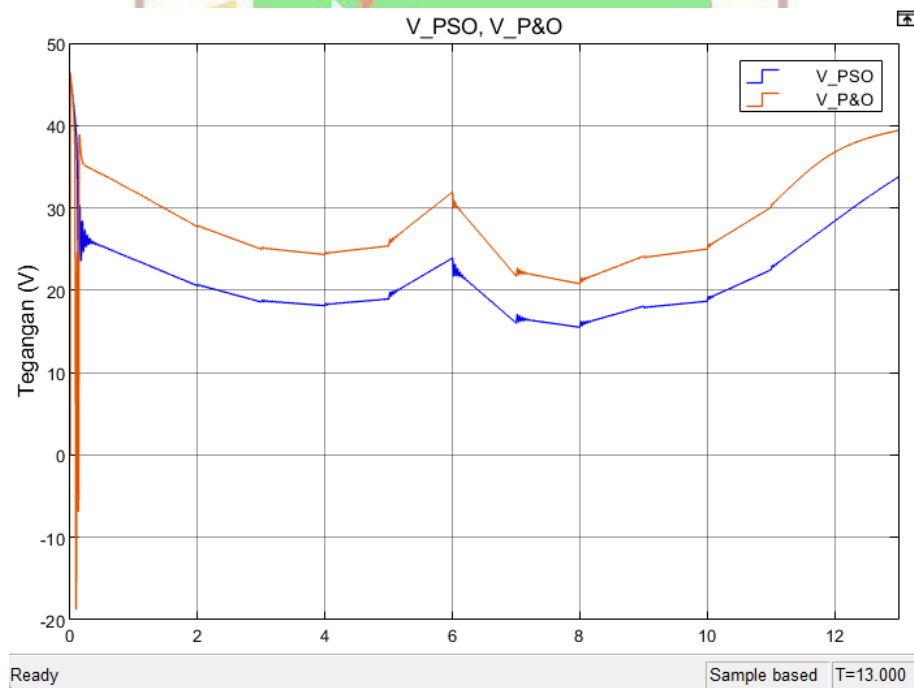
Gambar 4. 6 Grafik respon sistem daya metode PSO dan P&O

Melalui hasil plot simulasi yang ditunjukkan pada Gambar 4.6, terlihat perbedaan karakteristik yang signifikan dalam perilaku pelacakan daya oleh kedua algoritma tersebut. Pada awal proses simulasi, metode P&O mengalami osilasi yang cukup rapat pada tingkat daya rendah sebelum akhirnya mengalami lonjakan respons untuk mengikuti perubahan daya berikutnya, yang mengindikasikan sifat transisinya

yang fluktuatif saat mencari kepastian parameter operasi. Di sisi lain, metode PSO memperlihatkan adanya lonjakan pencarian global yang tinggi di fase awal sebagai representasi dari pergerakan kawanan partikel dalam mengeksplorasi titik daya optimum, sebelum akhirnya mampu mereduksi osilasi dan menghasilkan kurva pelacakan yang jauh lebih mulus. Fenomena naik-turunnya nilai daya di sepanjang grafik ini mengonfirmasi kapabilitas kedua algoritma dalam merespons dinamika fluktuasi sistem secara kontinu, di mana algoritma PSO menawarkan keunggulan berupa stabilitas kurva pelacakan yang lebih minim *ripple* setelah mencapai kondisi *steady state*.

4.5 Analisa Grafik Respon sistem Tegangan Panel Surya Dengan Menggunakan Metode PSO dan P&O

Dilakukan pengamatan untuk mengevaluasi pengamatan terhadap respons tegangan keluaran panel surya yang dikendalikan menggunakan metode PSO dan P&O. Tegangan merupakan salah satu parameter penting karena menunjukkan kemampuan algoritma dalam mengatur titik MPP pada kondisi lingkungan yang berubah-ubah



Gambar 4. 7 Grafik respon sistem tegangan metode PSO dan P&O

Berdasarkan Gambar 4.7 terlihat bahwa metode P&O menghasilkan tegangan keluaran yang lebih tinggi dibandingkan metode PSO pada hampir seluruh rentang waktu pengamatan. Pada awal simulasi, kedua metode mengalami transien akibat

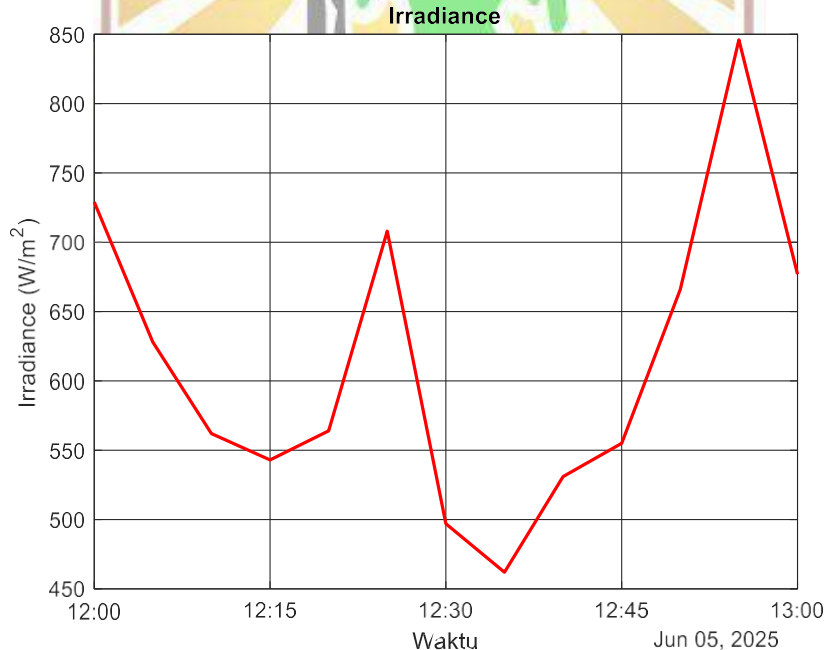
proses pencarian titik kerja optimum, namun metode PSO menunjukkan osilasi yang lebih kecil dan lebih cepat mencapai kondisi stabil. Metode PSO lebih cepat mencapai kondisi stabil. Sebaliknya, metode P&O menghasilkan tegangan yang lebih tinggi tetapi menunjukkan perubahan yang lebih signifikan Ketika terjadi perubahan kondisi.

4.6 Pengaruh Kondisi Lingkungan Terhadap Daya Keluaran

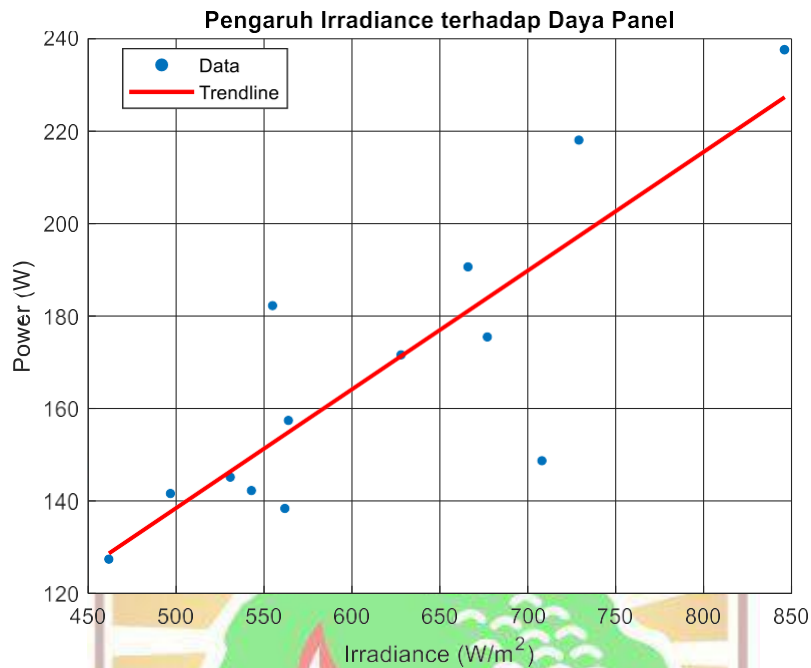
Kinerja operasional suatu sistem panel surya tidak hanya ditentukan oleh spesifikasi teknis komponen yang digunakan, namun juga sangat bergantung pada faktor eksternal atau kondisi lingkungan di lokasi pemasangan. Kondisi lingkungan yang dinamis secara langsung memengaruhi efisiensi konversi energi matahari menjadi energi listrik. Dalam analisis ini, parameter lingkungan utama yang diamati meliputi intensitas dan temperatur modul, yang keduanya memiliki karakteristik pengaruh berbeda terhadap parameter arus dan tegangan. Penjelasan mengenai pengaruh masing-masing kondisi lingkungan tersebut terhadap daya keluaran sistem akan diuraikan pada sub-bab berikut ini.

4.6.1 Pengaruh *Irradiance*

Irradiance merupakan sumber utama yang mempengaruhi output dari panel surya, untuk mengetahui pengaruh intensitas Cahaya matahari terhadap output panel surya, dilakukan pengambilan data selama satu jam. Data ini berfokus pada besarnya nilai *Irradiance* yang diterima oleh permukaan panel terhadap daya yang dihasilkan.



Gambar 4. 8 Grafik nilai *irradiance* terhadap waktu



Gambar 4. 9 Grafik Korelasi *Irradiance* terhadap Daya Panel Surya

Tabel 4. 3 Data pengamatan *irradiance* terhadap daya

<u>timestamp</u>	<u>Irradiance</u>	<u>Daya</u>
12:00	729	218
12:05	628	172
12:10	562	138
12:15	543	142
12:20	564	157
12:25	708	149
12:30	497	142
12:35	462	128
12:40	531	145
12:45	555	182
12:50	666	191
12:55	846	238
13:00	677	175

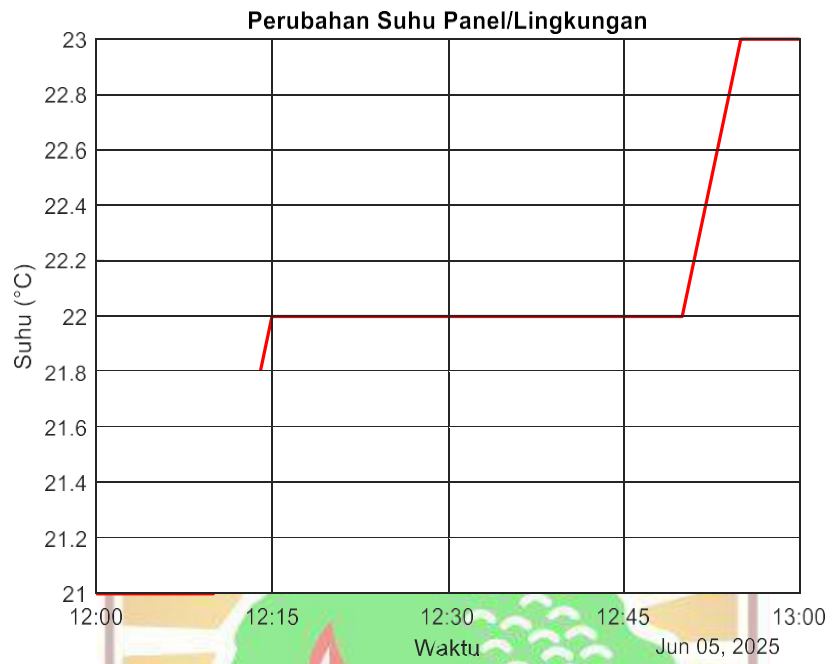
Pada Gambar 4.8 ditampilkan grafik perbandingan rata-rata harian irradiance dan daya panel surya selama satu jam. Berdasarkan grafik tersebut terlihat bahwa pola perubahan daya panel surya mengikuti pola perubahan *irradiance*. Ketika nilai irradiance berada pada kondisi tinggi, daya keluaran panel juga mengalami peningkatan. Hal ini menunjukkan bahwa energi cahaya matahari merupakan faktor

utama yang mempengaruhi kemampuan panel surya dalam menghasilkan energi listrik. Selain itu, pada beberapa tanggal terlihat adanya penurunan *irradiance* yang diikuti oleh penurunan daya keluaran panel surya secara signifikan. Kondisi ini dapat disebabkan oleh perubahan cuaca seperti mendung atau hujan yang mengurangi intensitas radiasi matahari yang diterima panel. Grafik tersebut menunjukkan bahwa kestabilan *irradiance* sangat berpengaruh terhadap kestabilan daya keluaran sistem panel surya sehingga performa sistem akan lebih optimal pada kondisi cuaca cerah dengan *irradiance* yang tinggi dan stabil.

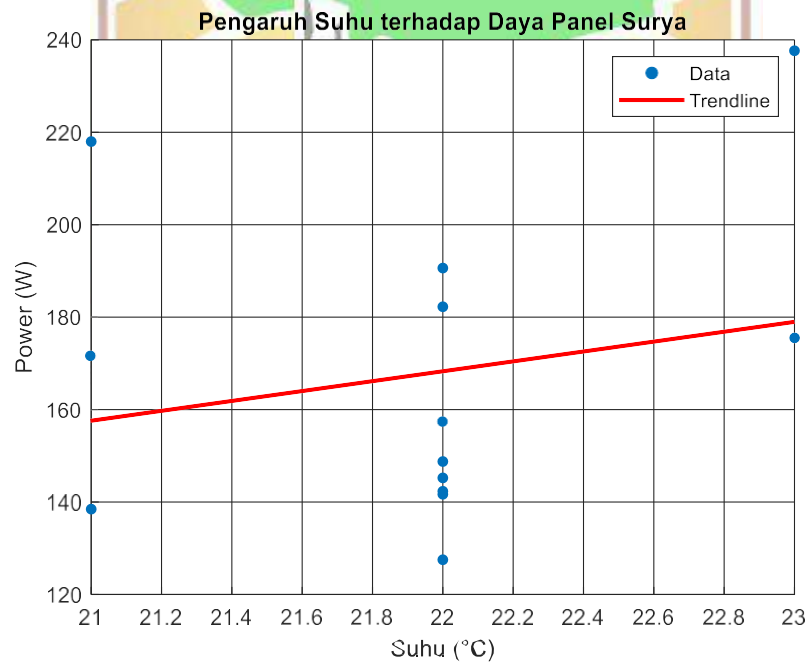
Pada Gambar 4.9 ditampilkan grafik korelasi antara *irradiance* terhadap daya panel surya menggunakan data hasil pengukuran. Berdasarkan grafik scatter tersebut terlihat bahwa terdapat hubungan positif antara *irradiance* dan daya keluaran panel surya. Semakin besar nilai *irradiance*, maka daya yang dihasilkan panel surya juga cenderung meningkat. Garis trendline pada grafik menunjukkan pola kenaikan yang cukup jelas sehingga dapat disimpulkan bahwa *irradiance* memiliki pengaruh yang kuat terhadap daya keluaran panel surya. Selain menunjukkan hubungan yang positif, grafik korelasi juga memperlihatkan adanya beberapa titik data yang menyebar di luar pola utama. Penyebaran data tersebut dapat dipengaruhi oleh faktor lain seperti temperatur panel, kelembapan udara, kondisi cuaca, serta perubahan beban pada sistem. Meskipun demikian, secara keseluruhan tren data tetap menunjukkan bahwa *irradiance* merupakan parameter lingkungan yang paling dominan dalam mempengaruhi performa daya keluaran panel surya.

4.6.2 Pengaruh Suhu

Suhu operasional pada panel surya merupakan salah satu factor utama juga yang yang memengaruhi kinerja *output* panel surya. analisis terhadap fluktuasi suhu harian diperlukan untuk melihat sejauh mana perubahan temperatur lingkungan memengaruhi stabilitas daya yang dihasilkan selama periode pengujian



Gambar 4. 10 Grafik nilai suhu terhadap waktu



Gambar 4. 11 Grafik Korelasi Suhu Terhadap Daya Panel Surya

Tabel 4. 4 Data pengamatan suhu terhadap daya

<u>timestamp</u>	<u>Suhu</u>	<u>Daya</u>
12:00	21	218
12:05	21	172
12:10	21	138
12:15	22	142
12:20	22	157
12:25	22	149
12:30	22	142
12:35	22	128
12:40	22	145
12:45	22	182
12:50	22	191
12:55	23	238
13:00	23	175

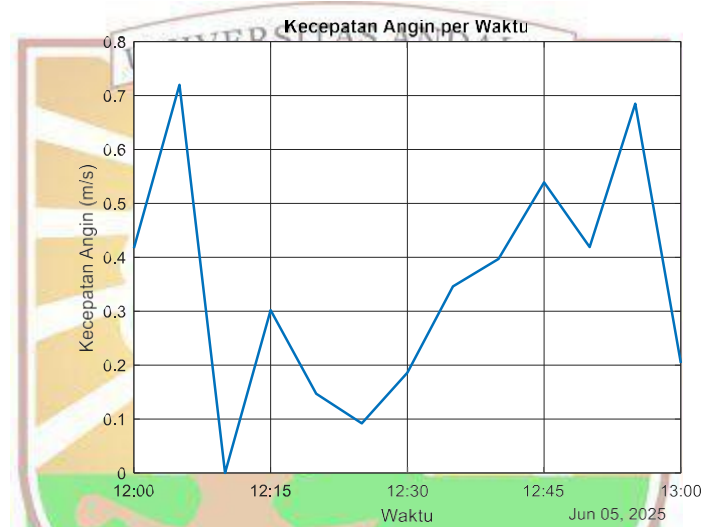
Pada Gambar 4.10 ditampilkan grafik perbandingan rata-rata harian suhu dan daya panel surya selama satu jam. Berdasarkan grafik tersebut terlihat bahwa perubahan suhu diikuti oleh perubahan daya keluaran panel surya. Pada kondisi suhu yang relatif stabil, daya keluaran panel juga cenderung stabil pada nilai tertentu. Namun pada beberapa periode terjadi penurunan suhu yang cukup signifikan dan diikuti dengan penurunan daya keluaran panel surya. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi lingkungan sangat mempengaruhi performa sistem panel surya. Selain itu, grafik menunjukkan bahwa kenaikan suhu tidak selalu menyebabkan peningkatan daya keluaran panel surya secara langsung. Pada kondisi tertentu, daya panel tetap berada pada nilai yang relatif stabil meskipun suhu mengalami kenaikan. Kondisi ini disebabkan karena daya panel surya tidak hanya dipengaruhi oleh suhu, tetapi juga dipengaruhi oleh *irradiance*, kelembapan udara, dan kondisi cuaca lainnya. Dengan demikian, suhu memiliki pengaruh terhadap performa panel surya, namun pengaruhnya tidak sebesar *irradiance*.

Pada Gambar 4.11 ditampilkan grafik korelasi suhu terhadap daya panel surya menggunakan data hasil pengukuran. Berdasarkan grafik scatter terlihat bahwa daya keluaran panel surya cenderung meningkat seiring kenaikan suhu hingga titik tertentu. Penyebaran data yang cukup luas menunjukkan bahwa hubungan antara suhu dan daya panel surya tidak sepenuhnya linier. Garis trendline pada grafik menunjukkan adanya kecenderungan peningkatan daya terhadap kenaikan suhu, namun terdapat banyak variasi data yang dipengaruhi oleh faktor lingkungan lainnya. Selain itu, terlihat bahwa pada suhu yang lebih tinggi terdapat beberapa data dengan daya keluaran yang tidak

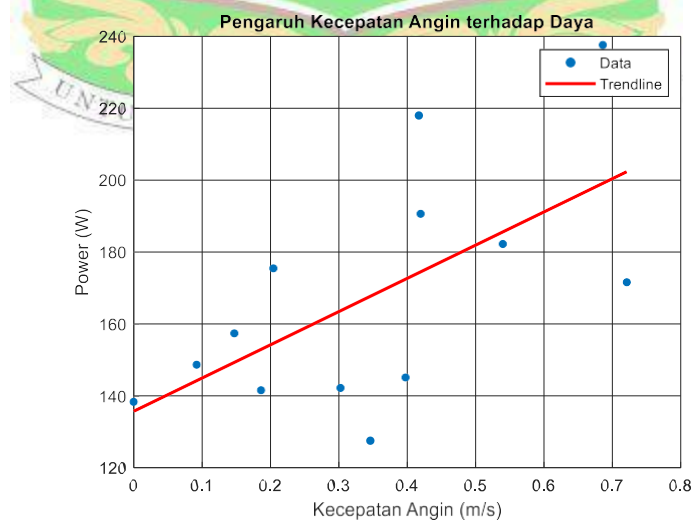
maksimum. Hal ini menunjukkan bahwa temperatur yang terlalu tinggi dapat menurunkan efisiensi panel surya akibat meningkatnya rugi-rugi termal pada sel surya. Oleh karena itu, suhu dapat dikatakan memiliki pengaruh terhadap performa panel surya, tetapi tetap diperlukan kondisi irradiance yang baik agar panel mampu menghasilkan daya yang optimal.

4.6.3 Pengaruh Kecepatan Angin

Kecepatan angin berfungsi sebagai pendinginan alami untuk kinerja panel surya. Kecepatan angin juga berperan untuk mencegah penurunan efisiensi akibat suhu berlebih. Pada penelitian ini



Gambar 4.12 Grafik nilai Kecepatan angin terhadap waktu



Gambar 4.13 Grafik Korelasi Kecepatan Angin Terhadap Daya Panel Surya

Tabel 4. 5 Data pengamatan Kecepatan angin terhadap daya

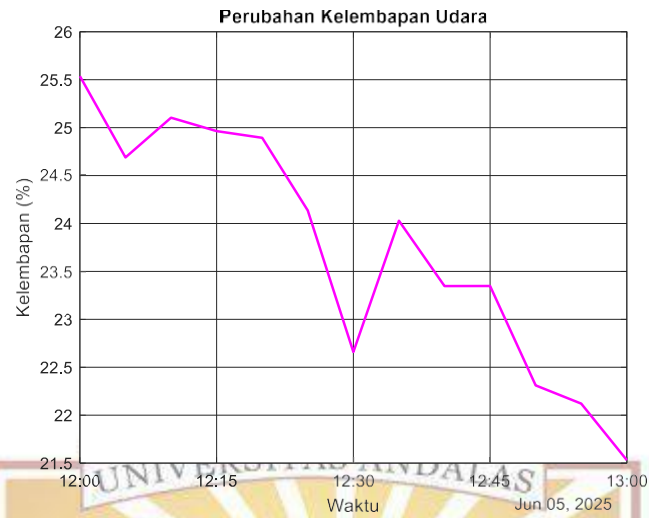
<u>timestamp</u>	<u>Kecepatan angin</u>	<u>Daya</u>
12:00	0.363	218
12:05	0.416	172
12:10	0.783	138
12:15	0.843	142
12:20	0.886	157
12:25	0.756	149
12:30	0.36	142
12:35	0.36	128
12:40	0.833	145
12:45	0.73	182
12:50	0.67	191
12:55	0.66	238
13:00	0.72	175

Pada gambar 4.12 ditampilkan grafik nilai kecepatan angin per waktu yang menunjukkan fluktuasi pergerakan angin sepanjang durasi pengujian dari pukul 12:00 hingga pukul 13:00. Kurva linier berwarna biru tersebut bergerak sangat dinamis dengan beberapa kali mengalami lonjakan dan penurunan yang cukup ekstrem. Titik puncak tertinggi dicapai pada fase awal pengujian dengan kecepatan melampaui 0,7 meter per detik, sementara titik terendah menyentuh angka nol meter per detik pada sekitar menit ke-10 pengamatan sebelum akhirnya kembali berfluktuasi secara fluktuatif menjelang akhir pengujian.

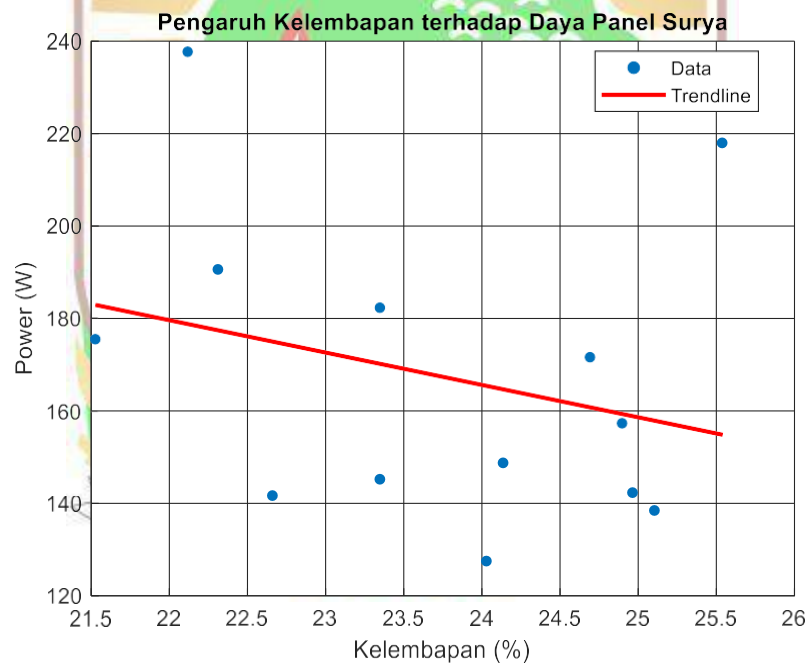
Pada gambar 4.13 disajikan grafik korelasi yang memperlihatkan pengaruh nilai kecepatan angin terhadap keluaran daya panel surya. Sebaran titik data berwarna biru dipetakan bersama garis tren linier berwarna merah yang menunjukkan arah kemiringan positif dari kiri bawah menuju kanan atas. Visualisasi ini mengindikasikan adanya hubungan linier yang searah, di mana peningkatan kecepatan angin cenderung berbanding lurus dengan peningkatan daya yang dihasilkan oleh panel surya sepanjang periode pengamatan tersebut

4.6.4 Pengaruh Kelembapan Udara

Kelembapan udara terhadap daya yang dihasilkan untuk mengetahui pengaruh yang unik karena berkaitan dengan kandungan uap air di udara yang dapat menghalangi radiasi matahari atau memengaruhi suhu di sekitar panel. Pada penelitian ini dilakukan analisis perbandingan antara data kelembapan udara terhadap daya yang dihasilkan.



Gambar 4. 14 Grafik nilai Kelembapan terhadap waktu



Gambar 4. 15 Grafik Korelasi Kelembapan Terhadap Daya Panel Surya

Tabel 4. 6 Data pengamatan kelembapan terhaap daya

<u>timestamp</u>	<u>Kelembapan</u>	<u>Daya</u>
12:00	25,537	218
12:05	24,689	172
12:10	25,104	138
12:15	24,964	142

12:20	24,894	157
12:25	24,135	149
12:30	22,659	142
12:35	24,029	128
12:40	23,347	145
12:45	23,348	182
12:50	22,311	191
12:55	22,121	238
13:00	21,531	175

Pada Gambar 4.14 ditampilkan grafik nilai kelembapan terhadap waktu yang menggambarkan tingkat kelembapan udara sepanjang durasi pengujian dari pukul 12:00 hingga pukul 13:00. Kurva linier berwarna merah muda tersebut menunjukkan tren pergerakan yang cenderung menurun secara bertahap seiring berjalannya waktu pengamatan. Titik kelembapan tertinggi berada pada awal pengujian dengan nilai mencapai 25,5 persen, kemudian mengalami penurunan fluktuatif hingga menyentuh titik terendahnya sebesar 21,5 persen tepat pada akhir jam pengujian.

Pada Gambar 4.15 disajikan grafik korelasi kelembapan terhadap daya panel surya yang memperlihatkan sebaran data aktual berwarna biru berpadu dengan garis tren linier berwarna merah. Kemiringan garis tren yang bergerak turun dari kiri atas menuju kanan bawah ini menunjukkan adanya hubungan korelasi negatif atau berbanding terbalik antara kedua variabel tersebut. Secara fisis, tingkat kelembapan udara yang tinggi dapat menghalangi dan memantulkan sebagian radiasi matahari sebelum mencapai permukaan sel surya, serta memicu peningkatan suhu permukaan akibat uap air yang tertahan sehingga menurunkan kinerja efisiensi dan mengurangi total keluaran daya listrik yang dihasilkan oleh panel surya.

4.7 Analisa Pengaruh Kondisi Lingkungan terhadap Performa Sistem

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan, kondisi lingkungan memiliki pengaruh yang sangat signifikan terhadap performa sistem panel surya. Parameter lingkungan seperti *irradiance*, suhu, kecepatan angin, dan kelembapan udara memengaruhi besar kecilnya daya keluaran yang dihasilkan panel surya. Dari hasil pengamatan, *irradiance* menjadi parameter yang paling dominan dalam menentukan daya keluaran panel surya. Semakin tinggi intensitas cahaya matahari yang diterima permukaan panel, maka daya *output* yang dihasilkan juga semakin besar. Hal ini terlihat dari grafik hubungan *irradiance* terhadap daya panel surya yang menunjukkan korelasi positif antara kedua parameter tersebut.

Selain *irradiance*, suhu juga memberikan pengaruh terhadap performa panel surya. Kenaikan suhu menyebabkan penurunan tegangan keluaran panel sehingga daya maksimum yang dihasilkan menjadi berkurang. Pada kondisi suhu tinggi, efisiensi panel surya mengalami penurunan akibat meningkatnya rugi-rugi termal pada sel

fotovoltaik. Sebaliknya, pada kondisi suhu yang lebih rendah, panel surya mampu menghasilkan daya yang lebih stabil dan efisien. Pengaruh suhu terhadap daya panel terlihat dari adanya penurunan performa ketika temperatur lingkungan meningkat selama periode pengujian.

Kecepatan angin juga memengaruhi performa panel surya secara tidak langsung melalui proses pendinginan permukaan panel. Semakin tinggi kecepatan angin, suhu permukaan panel cenderung menurun sehingga efisiensi panel dapat meningkat. Kondisi ini membantu panel surya mempertahankan stabilitas daya keluaran pada saat temperatur lingkungan mengalami kenaikan. Sementara itu, kelembapan udara menunjukkan hubungan yang berbanding terbalik terhadap daya keluaran panel surya. Kelembapan yang tinggi menyebabkan intensitas cahaya matahari yang diterima panel menjadi berkurang akibat meningkatnya kandungan uap air di atmosfer, sehingga daya keluaran panel cenderung menurun.

Secara keseluruhan, perubahan kondisi lingkungan menyebabkan titik daya maksimum (Maximum Power Point/MPP) panel surya terus berubah. Oleh karena itu, penggunaan algoritma Maximum Power Point Tracking (MPPT) sangat diperlukan untuk menjaga sistem tetap bekerja pada kondisi optimal. Berdasarkan hasil simulasi, metode Particle Swarm Optimization (PSO) menunjukkan kemampuan adaptasi yang lebih baik terhadap perubahan kondisi lingkungan dibandingkan metode Perturb and Observe (P&O). Metode PSO mampu menghasilkan daya keluaran dan efisiensi yang lebih tinggi, meskipun memiliki respon awal yang lebih kompleks. Sedangkan metode P&O memiliki respon yang lebih cepat dan sederhana, namun cenderung mengalami osilasi di sekitar titik daya maksimum ketika terjadi perubahan kondisi lingkungan secara cepat.

