

ANALISIS PERBANDINGAN JSO KONVENSIONAL DAN HYBRID 4S-JSO UNTUK GLOBAL MAXIMUM POWER POINT TRACKING PADA KONDISI PARTIAL SHADING

Muhammad Rizal.¹, M Jasa Afroni², Ngatmari³

¹Universitas Islam Malang

Prodi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Islam
Malang Jl. MT Haryono 193 Malang

22201053034@unisma.ac.id, jasa.afroni@unisma.ac.id, ngatmari@unisma.ac.id

Abstract

Partial Shading Condition (PSC) is one of the major challenges affecting the performance of photovoltaic (PV) systems, as it creates multiple Local Maximum Power Points (LMPPs) on the power-voltage (P-V) characteristic curve, making the identification of the Global Maximum Power Point (GMPP) more complex. This study aims to evaluate and compare the performance of the conventional Jellyfish Search Optimization (JSO) algorithm and the Hybrid 4S-JSO algorithm for GMPP tracking under PSC conditions. A partial research approach was adopted using the electrical characteristics of three series-connected SWF-50W photovoltaic modules. Voltage and current data were acquired through direct experimental measurements and subsequently processed in MATLAB to construct P-V curves, which served as the input data for both MPPT algorithms. The performance of the algorithms was assessed using several evaluation criteria, including the maximum power achieved, the average number of iterations required to reach the GMPP, and the tracking success rate. The experimental results demonstrate that both algorithms consistently identified the GMPP across all PSC scenarios and produced nearly identical maximum power outputs. Nevertheless, the Hybrid 4S-JSO algorithm exhibited superior tracking performance, requiring an average of 2.75 iterations to converge to the GMPP, compared with 5.65 iterations for the conventional JSO algorithm, while also attaining a higher tracking success rate. These findings suggest that incorporating the Four Section method effectively reduces the search space, enabling a faster and more efficient GMPP tracking process without compromising the accuracy of global optimum identification.

Keywords- Photovoltaic, MPPT, Global Maximum Power Point, Jellyfish Search Optimization, Hybrid 4S-JSO, Partial Shading Condition.

Abstraksi

Partial Shading Condition (PSC) merupakan salah satu permasalahan pada sistem Photovoltaic (PV) yang dapat menurunkan kinerja pembangkitan daya karena menyebabkan munculnya beberapa Local Maximum Power Point (LMPP), sehingga proses penentuan Global Maximum Power Point (GMPP) menjadi lebih kompleks. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis serta membandingkan kinerja algoritma Jellyfish Search Optimization (JSO) Konvensional dan Hybrid 4S-JSO dalam melakukan pelacakan GMPP pada kondisi PSC. Penelitian menggunakan pendekatan parsial, di mana data karakteristik panel surya diperoleh melalui proses pengukuran menggunakan sistem akuisisi data, kemudian diolah menggunakan MATLAB untuk membentuk kurva daya-tegangan (P-V) sebagai dasar pengujian algoritma. Selanjutnya, kedua algoritma diimplementasikan menggunakan data yang sama dan dievaluasi berdasarkan beberapa parameter, yaitu daya maksimum yang diperoleh, rata-rata iterasi menuju GMPP, dan persentase keberhasilan tracking. Hasil pengujian menunjukkan bahwa algoritma JSO Konvensional maupun Hybrid 4S-JSO mampu menemukan GMPP pada seluruh skenario pengujian dengan nilai daya maksimum yang relatif sama. Meskipun demikian, Hybrid 4S-JSO memberikan performa yang lebih baik, ditunjukkan oleh rata-rata iterasi menuju GMPP sebesar 2,75 iterasi, lebih rendah dibandingkan 5,65 iterasi pada JSO Konvensional, serta memiliki persentase keberhasilan tracking yang lebih tinggi. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penerapan metode Four Section mampu mempersempit ruang pencarian sehingga proses pelacakan GMPP menjadi lebih terarah, lebih cepat, dan lebih efisien pada kondisi Partial Shading Condition (PSC). Kata Kunci- Photovoltaic, MPPT, Global Maximum Power Point, Jellyfish Search Optimization, Hybrid 4S-JSO, Partial Shading Condition.

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik di berbagai sektor terus mengalami peningkatan sebagai dampak dari pertumbuhan jumlah penduduk, perkembangan sektor industri, serta kemajuan teknologi yang berlangsung secara berkesinambungan. Peningkatan kebutuhan energi tersebut mendorong upaya pengembangan sumber energi alternatif yang lebih berkelanjutan guna mengurangi ketergantungan terhadap energi berbasis bahan bakar fosil. Salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki prospek sangat baik untuk dikembangkan di Indonesia adalah energi surya. Letak geografis Indonesia yang berada di kawasan tropis menyebabkan wilayah ini menerima intensitas radiasi matahari yang relatif tinggi hampir sepanjang tahun, sehingga memberikan potensi yang besar bagi pemanfaatan teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).

Sistem *Photovoltaic* (PV) merupakan teknologi yang berfungsi mengonversi energi radiasi matahari menjadi energi listrik secara langsung melalui mekanisme efek fotovoltaiik. Pemanfaatan teknologi ini menawarkan berbagai keuntungan, antara lain ramah terhadap lingkungan, memiliki biaya operasional yang relatif rendah, serta didukung oleh ketersediaan sumber energi matahari yang melimpah. Akan tetapi, performa sistem PV sangat dipengaruhi oleh perubahan kondisi lingkungan, khususnya intensitas iradiasi matahari dan temperatur modul surya. Salah satu faktor yang paling sering memengaruhi kinerja sistem adalah *Partial Shading Condition* (PSC), yaitu kondisi ketika sebagian modul menerima tingkat penyinaran yang berbeda akibat adanya bayangan dari awan, bangunan, pepohonan, debu, maupun objek lain di sekitar panel surya.

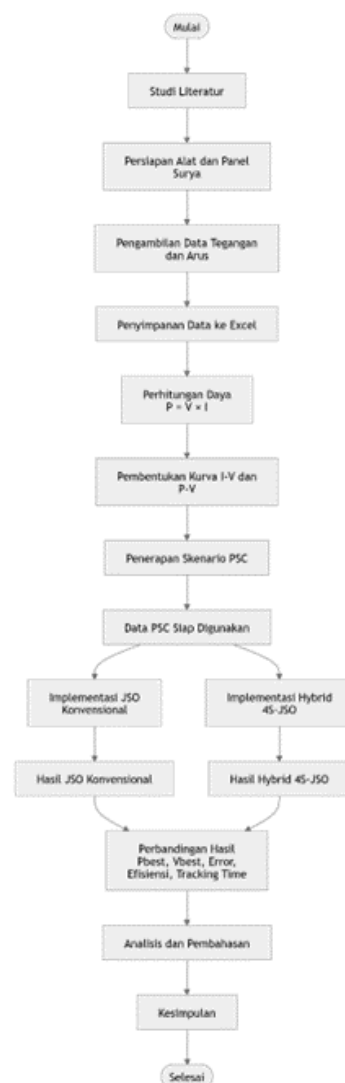
Keberadaan kondisi PSC menyebabkan karakteristik kurva daya–tegangan (*Power–Voltage* atau *P–V*) berubah menjadi lebih kompleks karena muncul beberapa titik *Local Maximum Power Point* (LMPP) serta hanya satu titik *Global Maximum Power Point* (GMPP). Munculnya beberapa puncak daya lokal tersebut mengakibatkan proses pelacakan titik daya maksimum menjadi lebih sulit sehingga metode *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) konvensional sering kali gagal mengidentifikasi titik GMPP secara tepat. Dampaknya, sistem PV tidak mampu menghasilkan daya maksimum sesuai dengan potensi energi yang tersedia. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, berbagai metode MPPT telah dikembangkan, mulai dari algoritma konvensional seperti *Perturb and Observe* (P&O) dan *Incremental Conductance* (IC), hingga algoritma optimasi berbasis kecerdasan komputasi. Salah satu algoritma *metaheuristic* yang menunjukkan kemampuan cukup baik dalam proses pencarian solusi global adalah *Jellyfish Search Optimization* (JSO). Algoritma ini mengadopsi perilaku ubur-ubur dalam mencari sumber makanan sehingga memiliki keseimbangan antara kemampuan eksplorasi dan eksploitasi yang memungkinkan proses pencarian GMPP dilakukan secara lebih efektif sekaligus mengurangi peluang terjebak pada titik maksimum lokal.

Meskipun JSO memiliki kemampuan pencarian global yang lebih baik dibandingkan metode MPPT konvensional, algoritma ini masih memiliki keterbatasan pada proses konvergensi karena pencarian solusi dilakukan pada seluruh ruang pencarian (*search space*).

Kondisi tersebut menyebabkan waktu yang dibutuhkan untuk menemukan GMPP menjadi relatif lebih lama, terutama ketika sistem beroperasi pada kondisi *partial shading* yang kompleks. Untuk meningkatkan performa algoritma, dikembangkan metode *Hybrid Four Section–Jellyfish Search Optimization* (4S–JSO), yaitu pendekatan yang mengombinasikan metode *Four Section* dengan algoritma JSO. Pendekatan *Four Section* digunakan untuk mengidentifikasi wilayah yang berpotensi mengandung titik GMPP sehingga ruang pencarian dapat dipersempit sebelum proses optimasi dilakukan. Dengan strategi tersebut, proses pencarian diharapkan berlangsung lebih cepat tanpa mengurangi tingkat akurasi dalam menentukan titik daya maksimum global.

II. METODE PENELITIAN

A. Metode Penelitian



Gambar 1. Flowchart Metode Penelitian

Penelitian ini bertujuan membandingkan performa algoritma *Jellyfish Search Optimization* (JSO) Konvensional dan Hybrid 4S–JSO dalam menentukan Global Maximum Power Point (GMPP) pada sistem *Photovoltaic* (PV) yang beroperasi pada

kondisi Partial Shading Condition (PSC). Metode penelitian dilakukan melalui pengambilan data karakteristik panel surya secara langsung, kemudian data tersebut diolah menggunakan MATLAB untuk mengimplementasikan kedua algoritma MPPT dan mengevaluasi performanya. Tahapan penelitian diawali dengan proses akuisisi data tegangan dan arus panel surya menggunakan sistem pengukuran berbasis mikrokontroler. Selanjutnya dilakukan perhitungan daya keluaran pada setiap titik pengukuran sehingga diperoleh karakteristik kurva Power–Voltage (P–V). Data hasil pengukuran kemudian disimpan dalam format Microsoft Excel dan digunakan sebagai masukan pada program MATLAB untuk proses implementasi algoritma JSO Konvensional maupun Hybrid 4S–JSO.

B. Akuisisi dan Pengolahan Data

Data karakteristik panel surya diperoleh melalui pengukuran langsung terhadap tegangan dan arus keluaran menggunakan sensor tegangan, sensor arus, serta mikrokontroler Arduino Uno sebagai sistem akuisisi data. Nilai daya dihitung menggunakan Persamaan (1).

$$P=V \times I$$

dengan:

P = daya keluaran (W)

V = tegangan panel surya (V)

I = arus panel surya (A)

Data hasil pengukuran selanjutnya diolah menggunakan MATLAB untuk membentuk kurva karakteristik Power–Voltage (P–V) yang digunakan sebagai fungsi objektif pada proses optimasi MPPT.

Perangkat yang digunakan pada proses pengambilan data ditunjukkan pada Tabel I.

Tabel I. Perangkat Pengambilan Data

Komponen	Fungsi
Panel Surya	Sumber data tegangan dan arus
Sensor Tegangan	Mengukur tegangan panel
Sensor Arus	Mengukur arus panel
Arduino Uno	Akuisisi data
Laptop	Pengolahan data MATLAB

C. Skenario Partial Shading

Pengujian dilakukan pada beberapa kondisi penyinaran untuk menghasilkan karakteristik kurva P–V yang berbeda. Kondisi normal digunakan sebagai acuan ketika seluruh modul menerima iradiasi penuh. Selanjutnya dilakukan tiga skenario Partial Shading Condition (PSC) dengan variasi tingkat bayangan sehingga terbentuk beberapa Local Maximum Power Point (LMPP) dan satu Global Maximum Power Point (GMPP).

Tabel II. Skenario Pengujian

Skenario	Kondisi
Normal	Tanpa bayangan
PSC-1	Bayangan ringan
PSC-2	Bayangan sedang
PSC-3	Bayangan berat

Kurva P–V dari setiap skenario digunakan sebagai data masukan untuk menguji kemampuan kedua algoritma dalam menemukan GMPP.

D. Implementasi Algoritma JSO Konvensional

Implementasi algoritma JSO diawali dengan membaca data karakteristik panel surya dari file Microsoft Excel. Selanjutnya dilakukan proses interpolasi sehingga diperoleh kurva P–V yang kontinu sebagai fungsi objektif. Populasi awal jellyfish diinisialisasi secara acak pada rentang tegangan operasi panel surya. Selama proses optimasi, setiap agen melakukan mekanisme global search maupun local search yang dikendalikan oleh parameter time control (Ct). Nilai daya terbaik pada setiap iterasi disimpan sebagai kandidat Global Maximum Power Point (GMPP) hingga jumlah iterasi maksimum tercapai. Parameter algoritma ditunjukkan pada Tabel III.

Tabel III. Parameter JSO Konvensional

Parameter	Nilai
Jumlah Jellyfish	4
Iterasi Maksimum	25
Ct	0–1
Xmin	0 V
Xmax	66 V

E. Implementasi Hybrid 4S–JSO

Metode Hybrid 4S–JSO mengombinasikan metode Four Section dengan algoritma Jellyfish Search Optimization. Pada tahap awal, rentang tegangan panel surya dibagi menjadi empat section yang memiliki ukuran sama. Setiap section dianalisis berdasarkan perubahan daya untuk menentukan area yang paling berpotensi mengandung Global Maximum Power Point (GMPP).

Setelah section terbaik diperoleh, algoritma JSO hanya melakukan optimasi pada rentang tersebut. Pembatasan ruang pencarian ini bertujuan mempercepat proses konvergensi, mengurangi jumlah evaluasi fungsi objektif, serta meningkatkan efisiensi pencarian dibandingkan JSO Konvensional yang melakukan pencarian pada seluruh rentang tegangan. Parameter Hybrid 4S–JSO ditunjukkan pada Tabel IV.

Tabel IV. Parameter Hybrid 4S–JSO

Parameter	Nilai
Jumlah Section	4
Jumlah Jellyfish	4
Iterasi Maksimum	25
Ct	0–1
Xmin	Section Terpilih
Xmax	Section Terpilih

F. Parameter Evaluasi

Performa algoritma JSO Konvensional dan Hybrid 4S–JSO dievaluasi menggunakan beberapa parameter, yaitu:

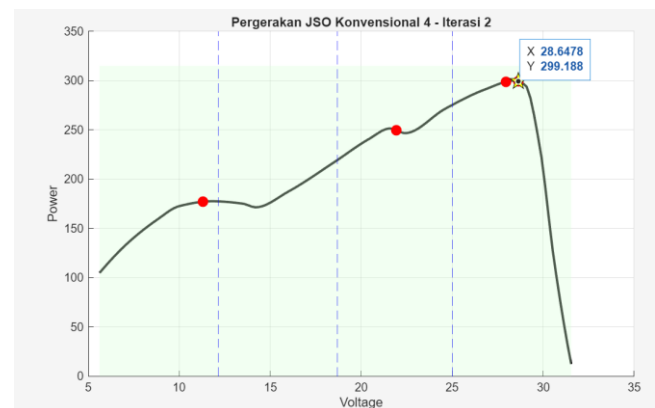
- Daya maksimum
- Rata-rata iterasi menuju GMPP
- Persentase keberhasilan tracking

Karakteristik konvergensi selama proses optimasi. Hasil evaluasi dari kedua algoritma kemudian dibandingkan untuk menentukan metode yang memiliki performa terbaik pada kondisi Partial Shading Condition (PSC).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian JSO Konvensional

Algoritma JSO Konvensional diuji menggunakan data karakteristik kurva daya–tegangan (*Power–Voltage* atau *P–V*) yang diperoleh dari hasil pengukuran sistem *Photovoltaic* (PV) pada seluruh skenario *Partial Shading Condition* (PSC). Proses optimasi dilakukan pada seluruh rentang tegangan kurva *P–V*, sehingga setiap agen (*jellyfish*) mengeksplorasi seluruh ruang pencarian. Hasil pengujian menunjukkan bahwa algoritma mampu menemukan *Global Maximum Power Point* (GMPP) pada seluruh skenario. Kurva *tracking* memperlihatkan pergerakan agen menuju GMPP, sedangkan kurva konvergensi menunjukkan peningkatan nilai *global best* (*gbest*) hingga mencapai kondisi konvergen. Namun, karena proses pencarian dilakukan pada seluruh ruang pencarian, algoritma memerlukan jumlah iterasi yang lebih besar untuk mencapai solusi optimum, sehingga waktu *tracking* relatif lebih lama dibandingkan metode yang



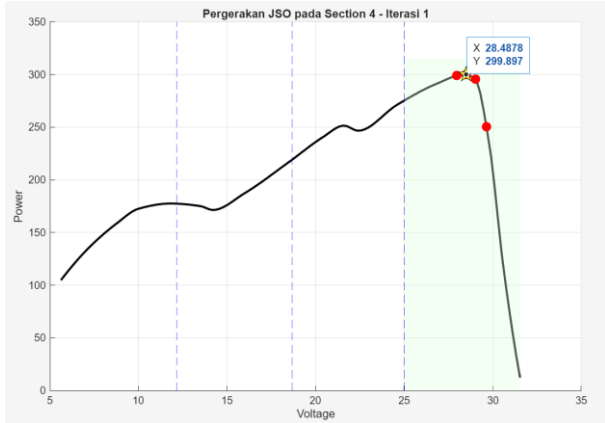
menggunakan penyempitan ruang pencarian.

Gambar 2. Grafik Pengujian JSO Konvensional

B. Hasil Pengujian Hybrid 4S–JSO

Pengujian Hybrid 4S–JSO dilakukan menggunakan data kurva daya–tegangan (*Power–Voltage* atau *P–V*) yang sama dengan JSO Konvensional, sehingga perbandingan kedua algoritma dilakukan pada kondisi yang identik. Sebelum proses optimasi, metode Four Section diterapkan untuk membagi kurva *P–V* menjadi empat *section* dan mengidentifikasi area yang berpotensi mengandung *Global Maximum Power Point* (GMPP). Selanjutnya, algoritma Jellyfish Search Optimization (JSO) melakukan proses optimasi hanya pada *section* yang terpilih. Hasil pengujian menunjukkan bahwa Hybrid 4S–JSO berhasil menemukan GMPP pada seluruh skenario pengujian. Kurva *tracking* menunjukkan bahwa proses pencarian berlangsung pada ruang pencarian yang lebih sempit, sedangkan kurva

konvergensi memperlihatkan tercapainya solusi optimum dengan jumlah iterasi yang lebih sedikit dibandingkan JSO Konvensional. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penerapan metode Four Section mampu meningkatkan efisiensi proses optimasi tanpa mengurangi kemampuan algoritma dalam melacak GMPP.



Gambar 3. Grafik Pengujian Hybrid 4S-JSO

C.Perbandingan Algoritma

Perbandingan performa JSO Konvensional dan Hybrid 4S-JSO dilakukan berdasarkan tiga parameter utama, yaitu daya maksimum, rata-rata jumlah iterasi menuju *Global Maximum Power Point* (GMPP), dan persentase keberhasilan *tracking*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kedua algoritma mampu menemukan GMPP pada seluruh skenario *Partial Shading Condition* (PSC), sehingga menghasilkan nilai daya maksimum yang relatif sama. Namun, Hybrid 4S-JSO memerlukan rata-rata iterasi yang lebih sedikit dibandingkan JSO Konvensional karena proses optimasi diawali dengan identifikasi *section* kandidat menggunakan metode Four Section, yang mempersempit ruang pencarian sebelum algoritma Jellyfish Search Optimization (JSO) dijalankan. Penyempitan ruang pencarian tersebut meningkatkan efisiensi proses optimasi tanpa mengurangi kemampuan algoritma dalam menemukan GMPP. Selain itu, Hybrid 4S-JSO menunjukkan persentase keberhasilan *tracking* yang lebih tinggi, sehingga memberikan kinerja MPPT yang lebih baik pada kondisi *Partial Shading Condition* (PSC).

Table V. Perbandingan Algoritma JSO

Parameter	JSO konvensional	Hybrid JSO 4S-
Daya maksimum	299.9 W	299,9 W

Rata iterasi	5,65	2,75
Presentase keberhasilan tracking	100 %	100 %

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, algoritma JSO Konvensional dan Hybrid 4S-JSO sama-sama berhasil melacak *Global Maximum Power Point* (GMPP) pada kondisi *Partial Shading Condition* (PSC). Dari 20 kali pengujian, Hybrid 4S-JSO menghasilkan daya maksimum yang relatif setara dengan JSO Konvensional. Namun, Hybrid 4S-JSO mampu mencapai GMPP dengan rata-rata jumlah iterasi yang lebih sedikit, yaitu 2,75 iterasi, dibandingkan JSO Konvensional yang membutuhkan rata-rata 5,65 iterasi. Hal ini menunjukkan bahwa penerapan metode Four Section mampu mempersempit ruang pencarian, sehingga proses pelacakan GMPP menjadi lebih terarah, cepat, dan efektif.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. B. S. Salsabila Fatiha Rahma, Dalilo Yogi Essy Pratama, Fuad Prabudewo Rohwidiyanto, "Photovoltaic Efficiency and Technology Innovation in Renewable Energy : A Systematic Literature Review," vol. 28, no. 1, pp. 62–76, 2025.
- [2] A. Martin *et al.*, "Tinjauan Potensi dan Kebijakan Energi Surya di Indonesia," vol. 6, no. 1, pp. 43–52, 2022.
- [3] I. Teknik, "Comparison of Energy Obtained from Solar Panels in *Partial Shading Condition* Using Various MPPT Techniques," vol. 15, no. 2, pp. 251–267, 2025, doi: 10.51747/energy.v15i2.15211.
- [4] A. K. Ellen David Chepp, "A Methodology for Prediction and Assessment of Shading on PV Systems," *Sol. Energy*, vol. 216, pp. 537–550, 2021.
- [5] W. H. Prabowo and A. Sahroni, "MENGATASI KONDISI PARTIAL SHADING PADA KINERJA SISTEM PANEL SURYA : KAJIAN

- LITERATUR,” vol. 5, no. 1, pp. 15–25, 2025.
- [6] A. Basalamah, H. Ma, H. Eren, A. S. Alghamdi, K. Kamil, and S. Y. Hartono, “Jurnal Nasional Teknik Elektro Comparing MPPT Algorithms for Improved Partial-Shaded PV Power Generations,” vol. 3, 2023.
- [7] M. J. Afroni, E. Faculty, U. I. Malang, E. S. Wirateruna, E. Faculty, and U. I. Malang, “4 Section method for MPPT optimization in Solar Panel Experiments under PSC v221023,” no. November, pp. 2–4, 2023.
- [8] A. Alam, P. Verma, M. Tariq, A. Sarwar, B. Alamri, and N. Zahra, “Jellyfish Search Optimization Algorithm for MPP Tracking of PV System,” *Sci. Rep.*, 2021.
- [9] S. Abboud *et al.*, “Optimizing Solar Energy Production in Partially Shaded PV Systems with PSO-INC Hybrid Control,” vol. 5, no. 2, pp. 312–320, 2024, doi: 10.18196/jrc.v5i2.20896.
- [10] A. Farayola, Y. Sun, A. Ali, and B. Khan, “Application of improved Jellyfish search algorithm for 9-parameters cell extraction and GMPPT in PV systems,” *Sci. Rep.*, 2024.
- [11] A. K. A. Meghraj Morey, Nitin Gupta, Man Mohan Garg, “A comprehensive review of grid-connected solar photovoltaic system: Architecture, control, and ancillary services,” vol. 45, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ref.2023.04.009>.
- [12] J. Politeknik and C. Riau, “Efisiensi dari Solar panel terhadap Efek Partial shading di Wilayah Karang Joang,” vol. 8, no. 1, pp. 53–62, 2022.
- [13] N. A. Hasanuddin, “Sistem Perencanaan Mppt Pada Panel Surya Dengan Variasi Beban,” 2024.
- [14] I. Abadi, N. R. Elchoir, A. Musyafa, H. Hadi, and D. N. Fitriyanah, “Enhanced performance of PV systems using a smart discrete solar tracker with fuzzy-ant colony controller,” vol. 16, no. 3, pp. 2090–2102, 2025, doi: 10.11591/ijpeds.v16.i3.pp2090-2102.