

Received: Maret 2022

Accepted: April 2022

Published: April 2022

Analisa Performa MPPT Algoritma *Flower Pollination Alghorithm* dan *Perthurb and Obserbve* Menggunakan Zeta Converter

**Guntara Sukma Ragil Santoso^{1*}, Epyk Sunarno², Lucky Pradigta Setiya Raharja³,
Rachma Prilian Eviningsih⁴**

^{1*,2,3,4}Politeknik Elektronika Negeri Surabaya

Email: *guntara.net@gmail.com

Abstract

In comparison to other countries, Indonesia is a tropical country with a relatively high intensity of sunlight. As a result, Indonesia has a lot of promise in terms of using solar energy as an alternative energy source. Solar energy is a renewable resource that humans can use indefinitely. As a result, solar energy is widely used, and one of them is used to generate electricity. The power generated by solar panels is heavily impacted by environmental and weather factors. So MPPT (Maximum Power Point Tracking) is used to enhance the output power of the solar panel. There are numerous MPPT methods, one of which is MPPT with the Flower Pollination Algorithm. To manage the power output from the solar panels, the MPPT method will be applied to the Zeta Converter. The MPPT method's algorithm is written in C-Code and is simulated using PSIM software. According to the results of the system developed utilizing the two MPPT methods, the accuracy and tracking time achieved by the MPPT FPA approach are 99.97% and 0.186 seconds, respectively. While the MPPT P&O approach has a tracking time of 0.745 seconds and a 99.88 percent accuracy. According to the waveforms of the two ways, the MPPT with the P&O method has power oscillations at the maximum point, whereas the MPPT with the FPA method does not have oscillations. In comparison to MPPT with traditional methods such as P&O, the advantages of MPPT with the Flower Pollination Algorithm method has a quick tracking reaction time, excellent accuracy, and does not cause power oscillations at the maximum point.

Keywords : *Alternative Energy, Solar Panels, FPA, P&O, MPPT*

Abstrak

Indonesia merupakan negara tropis yang memiliki intensitas cahaya matahari yang cukup tinggi dibanding dari negara lain. Sehingga, Indonesia memiliki potensi yang tinggi dalam pemanfaatan energi alternatif berupa energi surya. Energi surya merupakan energi yang berkelanjutan yang dapat kita manfaatkan terus menerus. Sehingga pemanfaatan energi surya cukup banyak dan salah satunya pemanfaatan untuk kelistrikan. Daya yang dihasilkan dari panel surya sangat dipengaruhi dari kondisi lingkungan dan cuaca. Sehingga untuk memaksimalkan daya keluaran pada panel surya maka digunakanlah MPPT (*Maximum Power Point Tracking*). Banyak sekali metode – metode yang digunakan untuk MPPT dan salah satunya adalah MPPT dengan metode *Flower Pollination Alghorithm*. Metode MPPT yang digunakan akan diterapkan pada *Zeta Converter* untuk mengatur daya yang dikeluarkan dari panel surya. Algoritma dari metode MPPT yang digunakan dibangun pada C-Code pada simulasi *software* PSIM. Dari hasil sistem yang dibangun menggunakan kedua metode MPPT tersebut, akurasi dan waktu tracking yang dihasilkan oleh metode MPPT FPA sebesar 99,97% dan 0,186 detik. Sedangkan metode MPPT P&O memiliki akurasi dan waktu tracking sebesar 99,88% dan 0,745 detik. Dari bentuk gelombang kedua metode tersebut, MPPT dengan metode P&O terdapat osilasi daya pada titik maksimum, sedangkan MPPT dengan metode FPA tidak terjadi osilasi. Dari hasil tersebut dapat diketahui keunggulan MPPT dengan metode *Flower Pollination Alghorithm* memiliki respon waktu tracking yang cepat, akurasi yang tinggi, dan tidak menghasilkan osilasi daya pada titik maksimum dibandingkan MPPT dengan metode konvensional seperti P&O.

Kata kunci : *Energi Alternatif, Panel Surya, FPA, P&O, MPPT*

1. Pendahuluan

Dari kondisi geografis Indonesia yang terletak pada daerah khatulistiwa membuat Indonesia menjadi negara tropis dengan intensitas matahari yang cukup tinggi di sepanjang tahunnya. Tingkat iradiasi matahari yang cukup tinggi dengan potensi penyerapan energi surya sebesar $4,625 \text{ kWh/m}^2$ membuat negara Indonesia sangat cocok untuk pemanfaatan energi surya dengan merubah ke energi listrik menggunakan solar panel. Untuk mengubah energi surya menjadi energi listrik diperlukan alat berupa panel surya. Panel surya sendiri dapat bekerja sepanjang hari selama terdapat energi surya. Meskipun begitu panel surya tidak selalu menghasilkan daya yang konstan, karena daya yang dihasilkan dari panel surya sangat bergantung pada besarnya iradiasi matahari yang seringkali berubah-ubah[1].

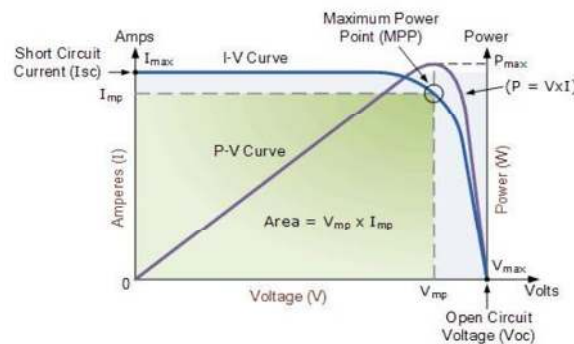
Untuk memaksimalkan penyerapan daya yang dihasilkan oleh solar panel maka digunakanlah MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) agar tidak adanya energi listrik yang dihasilkan solar panel tidak terpakai[2]. Teknik yang digunakan untuk MPPT akan diterapkan ke alat elektronik yang diantara solar panel dan beban[3]. Maka dirancanglah MPPT dengan metode "*Flower Pollintaion Alghorithm*" yang diharapkan dapat mengurangi respon time pelacakan *max power point* dan keakuratan data yang tinggi. MPPT dengan metode FPA menghasilkan akurasi yang paling tinggi dalam kondisi *partial shading* dan dalam kondisi normal akurasi dan waktu pelacakan juga bagus [4]–[6]. Dalam kondisi normal metode *Fuzzy* menghasilkan waktu pelacakan dan akurasi yang tinggi meskipun terdapat osilasi daya[4]. Dan metode P&O menghasilkan akurasi yang cukup bagus dalam kondisi normal tapi tidak dalam kondisi *partial shading*, selain itu terjadi osilasi yang berpengaruh pada akurasi daya[4], [5]. DC-DC converter yang digunakan adalah *zeta converter* karena *zeta converter* memiliki ripple tegangan dan ripple arus yang kecil, sehingga dapat mempengaruhi tingkat akurasi pelacakan *max power point*[5], [7]. Untuk

mengetahui performa dai MPPT FPA, maka akan dibandingkan dari metode MPPT FPA dan metode MPPT P&O. Kedua metode tersebut akan diterapkan ke dalam zeta konverter untuk dapat mengatur daya yang dikeluarkan dari panel surya.

2. Metoda Penelitian

2.1. Panel Surya

Panel surya merupakan alat yang berfungsi untuk mengonversi energi surya (energi matahari) menjadi energi listrik[8]. Panel surya tersusun dari susunan sel surya yang disusun secara seri untuk menghasilkan tegangan kerja tertentu. Karakteristik kurva I-V dan P-V dari panel surya ditunjukkan pada gambar 1.

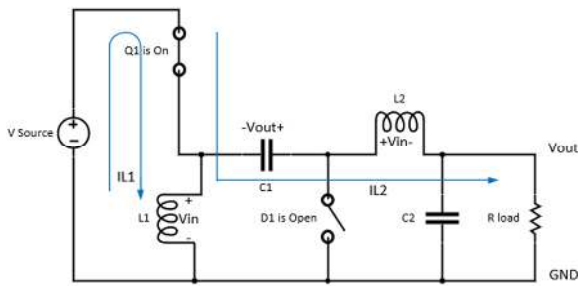


Gambar 1. Kurva Arus-Tegangan dan Daya

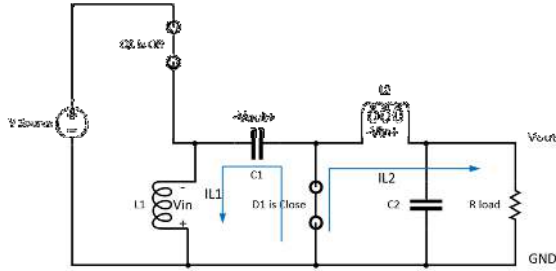
Dari gambar 2 merupakan kurva arus-tegangan dan daya yang menggambarkan karakteristik dari panel surya. Dari kurva tersebut dapat dilihat bahwa panel surya akan bekerja pada daya tertinggi ketika berada pada titik tertinggi yang ditandai dengan I_{mp} dan V_{mp} sehingga menghasilkan *max power point* (MPP)[8].

2.2. Zeta Konverter

Zeta konverter merupakan dc-dc konverter yang menghasilkan tegangan output positif dari tegangan input baik berfungsi sebagai *buck* ataupun *boost*. *Zeta konverter* membutuhkan 2 induktor dan 2 kapasitor yang sama halnya dengan *SEPIC konverter*



Gambar 2. State On Dari Zeta Konverter



Gambar 3. State Off Dari Zeta Konverter

Untuk lebih memahami prinsip kerja dari *zeta converter* pada kondisi *continuous conduction mode* (CCM), dilakukan analisa pada keadaan *State On* dan keadaan *State Off*. Pada kondisi *State On* (Q1 aktif) yang ditunjukkan pada gambar 2 membuat dioda D1 dalam kondisi *reverse bias* atau tidak konduksi, dalam kondisi ini kedua induktor L1 dan L2 dalam kondisi pengisian. Induktor L1 diisi dari tegangan sumber input sedangkan induktor L2 diisi dari kapasitor C1. Sehingga pada kondisi ini arus pada kedua induktor naik secara linier[9], [10]. Pada kondisi *State Off* (Q1 tidak aktif) yang ditunjukkan pada gambar 3 membuat diode D1 dalam kondisi *forward bias* atau konduksi, dalam kondisi ini induktor L1 dan L2 akan *discharging* melalui kapasitor C1 dan beban. Oleh karena itu arus dari kedua induktor akan menurun karena induktor *discharging*[10].

Duty Cycle (D) untuk *zeta converter* pada kondisi *continuous conduction mode* (CCM) diketahui melalui persamaan sebagai berikut :

$$D = \frac{V_o}{V_o + V_{smin}} \quad (1)$$

$$\frac{D}{(1-D)} = \frac{V_o}{V_{smin}} = \frac{I_{in}}{I_o} \quad (2)$$

Arus ripple yang diinginkan dapat dihitung sebagai berikut :

$$\Delta I_L = r I_L \times I_{in} \quad (3)$$

$$\Delta I_{L2} = r I_L \times I_o \quad (4)$$

Sehingga induktansi pada L1 dan L2 dapat dihitung sebagai berikut :

$$L_1 = \frac{DV_{smin}}{F \Delta I_{L1}} \quad (5)$$

$$L_2 = \frac{DV_{smin}}{F_s \Delta I_{L2}} \quad (6)$$

Tegangan keluaran dari *zeta converter* memiliki ripple tegangan yang rendah. Sehingga nilai kapasitor output C2 dapat diketahui dengan persamaan berikut :

$$C_2 = \frac{\Delta I_{L2}}{8 F_s \Delta V_{C2}} \quad (7)$$

Nilai kapasitor kopling C1 dapat diketahui dengan persamaan berikut :

$$C_1 = \frac{D I_o}{\Delta V_{C1} F_s} \quad (8)$$

Untuk mengatasi ripple tegangan yang terjadi pada sumber, maka diperlukan kapasitor yang diparalel dengan input. Nilai kapasitor input Cin dapat diketahui dengan persamaan berikut :

$$C_{in} = \frac{D I_o}{\Delta V_{Cin} F_s} \quad (9)$$

2.3. MPPT Flower Pollination Alghorithm

Flower Pollination Alghorithm (FPA) merupakan sebuah algoritma yang telah dikembangkan dari tahun 2012, pemrograman ini terinspirasi dari proses penyerbukan bunga secara alami yang terjadi di alam[11], [12]. Penyerbukan adalah suatu fenomena dimana serbuk sari dari suatu spesies akan disalurkan ke spesies lain. Secara umum penyerbukan terbagi menjadi 2 jenis, yaitu penyerbukan abiotik (penyerbukan sendiri) yang merupakan penyerbukan dari tanaman atau spesies yang

sama dan penyerbukan biotik (penyerbukan silang) yang merupakan penyerbukan dari tanaman yang berbeda atau berbeda spesies dengan bantuan lebah, burung, kelelawar yang bertindak sebagai agen penyerbukan. Diketahui bahwa 90% proses penyerbukan adalah penyerbukan silang dan hanya sekitar 10% merupakan penyerbukan sendiri[13]. kontrol dari penyerbukan sendiri dan penyerbukan silang dibatasi dengan *probability switch* $p \in [0,1]$. Pada pengimplementasian FPA terdapat aturan yang harus diikuti.

Peraturan 1:

Biotik atau penyerbukan silang adalah proses penyerbukan global (*global pollination*) dan diikuti oleh *levy flight* untuk proses perpindahan serbuk sari, sehingga *levy flight* merupakan agen pembawa pada proses perpindahan serbuk sari. Persamaan matematika untuk mewakili proses penyerbukan silang sebagai berikut,

$$x_i^{k+1} = x_i^k + L(gbest - x_i^k) \quad (10)$$

Dimana 'i' menunjukkan urutan nomor iterasi, 'k' menunjukkan urutan nomor serbuk sari, 'gbest' merupakan solusi terbaik dari serbuk sari (x_i^k), 'L' adalah *levy factor* yang berperan dalam proses perpindahan serbuk sari dari penyerbukan silang. Dengan adanya peran *levy factor* dalam perpindahan serbuk sari, maka aliran perpindahan serbuk sari oleh *levy factor* direpresentasikan dengan,

$$L = \frac{\lambda \Gamma(\lambda) \sin\left(\frac{\pi\lambda}{2}\right)}{\pi} \frac{1}{S^{1+\lambda}} (S \gg S^0 > 0) \quad (11)$$

Dimana ' $\Gamma(\lambda)$ ' merupakan standar fungsi gamma yang berlaku untuk Langkah yang lebih besar dari ($S \gg S^0 > 0$). Berdasarkan metode trial dan eror nilai dari ' λ ' didapatkan nilai sebesar 1,5 untuk memastikan konvergensi yang lebih cepat[14].

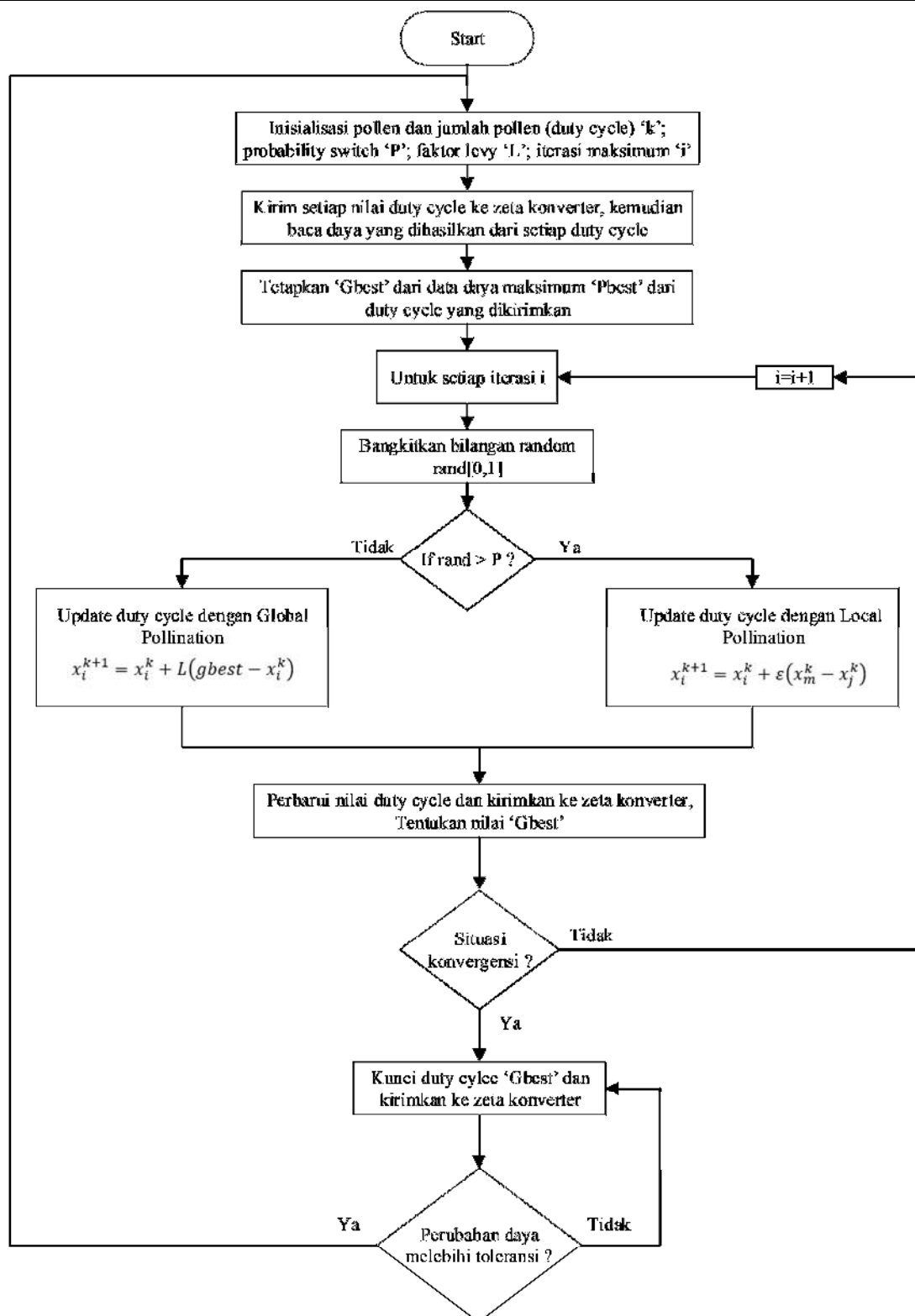
Peraturan 2:

Abiotik atau penyerbukan sendiri merupakan suatu proses penyerbukan local (*local pollination*) pada tanaman berbunga. Persamaan dari karakteristik penyerbukan lokal dinyatakan sebagai,

$$x_i^{k+1} = x_i^k + \varepsilon(x_m^k - x_j^k) \quad (12)$$

Dimana ' x_m^k ' dan ' x_j^k ' adalah serbuk sari yang berbeda dari 1 jenis tanaman yang sama. Faktor ' ε ' (*epsilon*) merupakan representasi pencarian lokal pada distribusi $\varepsilon \in [0,1]$. Penyerbukan lokal terjadi antara bunga dengan spesies yang sama yang saling berdekatan, sedangkan penyerbukan silang terjadi pada bunga pada jarak yang jauh dari spesies yang berbeda. sehingga perpindahan proses penyerbukan dikontrol oleh "*probability switch* $p \in [0,1]$ ". Pada umumnya *probability switch* (P) yang digunakan bernilai 0,8 untuk memastikan optimalisasi[13].

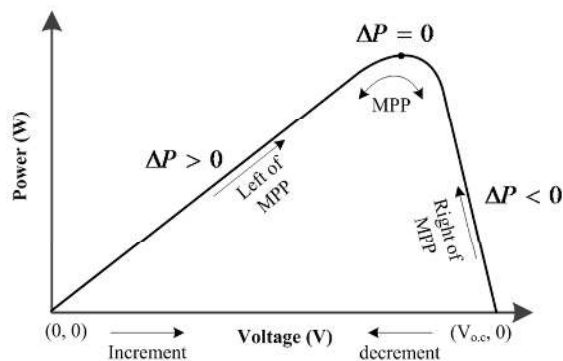
Keseluruhan langkah dari proses penerapan FPA untuk MPPT tersebut ditunjukkan dengan *flowchart* pada gambar 4.



Gambar 4. Flowchart Proses MPPT FPA

2.4. MPPT P&O

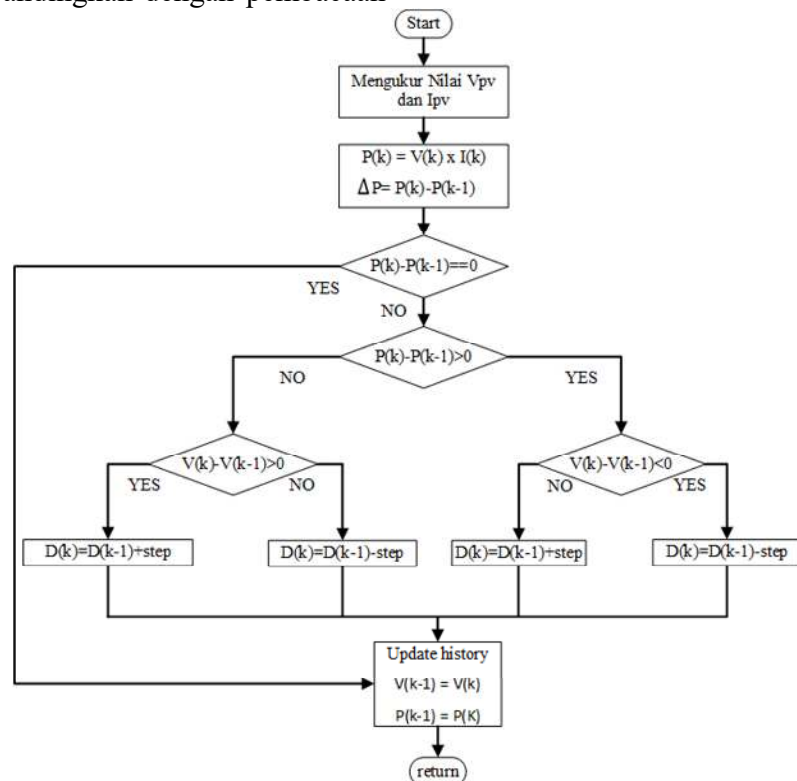
Perturb and Observe (P&O) merupakan sebuah algoritma MPPT konvensional yang umum digunakan dalam proses MPPT karena kemudahannya dalam penerapannya. Algoritma MPPT ini memerlukan tegangan dan arus output panel surya sebagai pengolahan data pada algoritma tersebut. pada gambar 5 merupakan grafik perbandingan daya dan tegangan pada panel surya.



Gambar 5. Grafik perbandingan daya dan tegangan

Dari parameter daya (P_{in}) dan tegangan (V_{in}), maka dibandingkan dengan pembacaan

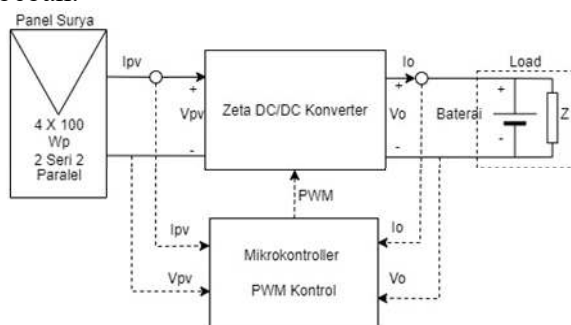
data parameter sebelumnya $P_{in}(n-1)$ dan $V_{in}(n-1)$. Dari hasil perbandingan tersebut akan diperoleh ΔP dan ΔV . Jika daya meningkat dengan meningkatnya *duty* (D), maka *duty* (D) akan meningkat juga dan jika daya berkurang karena kenaikan *duty* (D), maka rasio *duty* (D) akan berkurang. Demikian pula jika sebaliknya.[15]. Gambar 6 adalah flowchart proses dari MPPT P&O.



Gambar 6. Flowchart Perturb and Observe

2.5. Desain Sistem

Untuk melakukan pembuatan sistem, maka diperlukan sebuah perencanaan yang berupa blok diagram. Blok diagram sistem yang akan dibuat dapat dilihat pada gambar 7 yang menjelaskan tentang urutan dari sistem yang akan dibuat mulai dari sumber hingga beban.



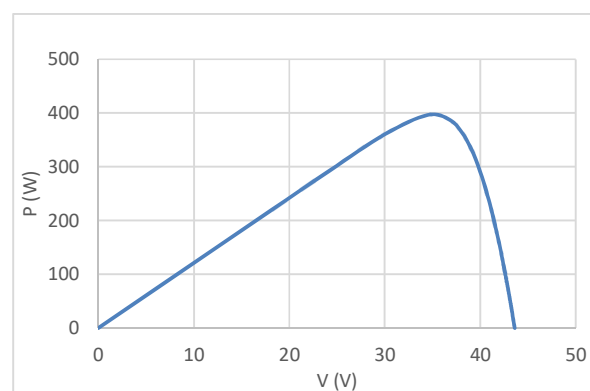
Gambar 7. Blok Diagram sistem

Pada gambar 7 dijelaskan cara kerja dari sistem ini adalah digunakan 4 panel surya yang disusun secara 2 seri dan 2 paralel dengan masing-masing berkapasitas 100 Wp. Tegangan dan arus yang keluar dari solar panel akan dibaca oleh sensor tegangan dan sensor arus. Dengan adanya sinyal masukan berupa tegangan dan arus yang dibaca, maka data yang diperoleh dari kedua sensor tersebut akan digunakan sebagai acuan untuk melakukan kontrol *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) menggunakan *Flower Pollination Algorithm* (FPA). Pada kondisi awal maka nilai *duty cyle* keluaran dari *mikrokontroller* ditetapkan terlebih dahulu, kemudian nilai *duty cyle* akan berubah seiring dengan dilakukannya *tracking power* oleh *mikrokontroller*. Sehingga nilai *duty cycle* yang ada pada dc-dc konverter tersebut diatur oleh algoritma dari MPPT yang digunakan. Sementara sensor tegangan dan arus yang berada pada sisi keluaran konverter digunakan untuk memonitoring tegangan dan arus keluaran dari konverter tersebut. Spesifikasi dari panel surya yang digunakan di tunjukkan pada tabel 1.

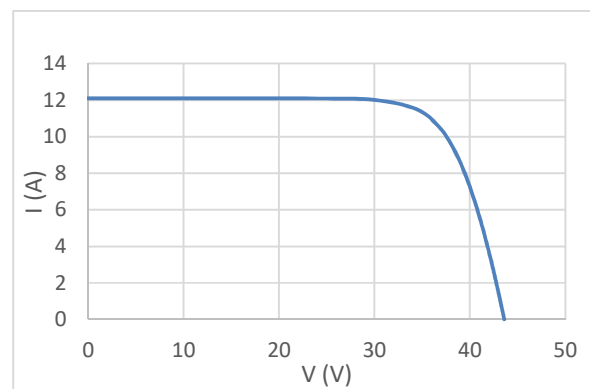
Tabel 1. Spesifikasi Panel Surya 100Wp

No	Parameter	Nilai
1	P_{max}	100 W
2	I_{mp}	5,48 A
3	V_{mp}	18,24 V
4	V_{oc}	21,8 V
5	I_{sc}	8,81 A
6	Cell	36

Dari spesifikasi panel surya yang digunakan dengan disusun secara 2 seri dan 2 paralel akan diperoleh grafik karakteristik dari susunan panel surya tersebut.



Gambar 8. Grafik Antara Tegangan dan Arus.



Gambar 9. Antara Arus dan Tegangan

Pada proses MPPT digunakan dc-dc konverter yang digunakan adalah zeta konverter. Paramater desain dari zeta konverter ditunjukkan pada tabel 2.

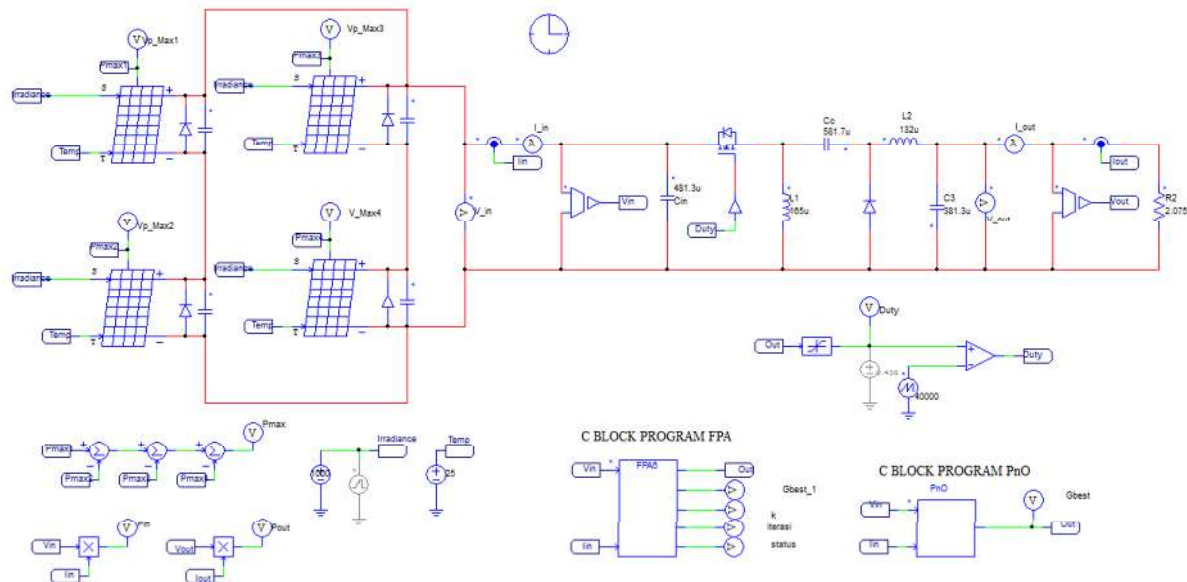
Tabel 2. Parameter Desain Zeta Konverter

No	Parameter	Nilai
1	Tegangan Input (V_{in})	36,48 V
2	Tegangan Output (V_o)	28,8 V
3	Arus Input (I_{in})	12,2 A
4	Arus Output (I_o)	15,23 A
5	Frekuensi (F)	40 kHz
6	Ripple Induktor (rI_L)	20%
7	Ripple Tegangan C_1 (rV_{C1})	1%
8	Ripple Tegangan C_1 (ΔV_{C2})	25%
9	Ripple Tegangan C_{in} (rV_{C1})	1%

3. Hasil Penelitian

Simulasi sistem dilakukan dengan menggunakan software aplikasi Power Simulation (PSIM) dengan membuat rangkaian zeta konverter beserta beban dengan

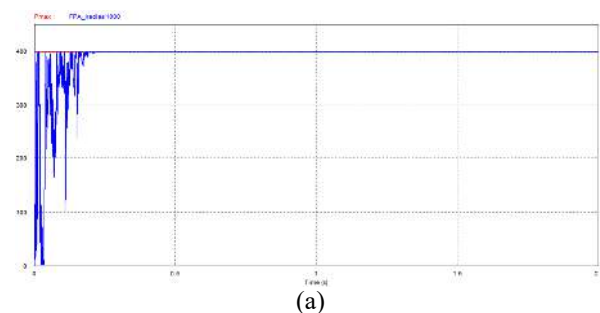
sumber 4 buah panel surya 100 Wp yang disusun secara 2 seri dan 2 paralel. Pemrograman algoritma dilakukan di C blok untuk membuat Algoritma dari *Flower Pollination Alghorithm* (FPA) dan *Perturb and Observe* (PnO). Gambar rangkaian percobaan ditunjukkan pada gambar 10 . Pengujian ini dilakukan untuk membandingkan MPPT antara kedua metode algoritma tentang performa kecepatan pelacakan dan akurasi daya yang dihasilkan setiap algoritma. Pengujian MPPT algoritma *Perturb and Observe* (P&O) dan *Flower Pollination Alghorithm* (FPA) ini dilakukan dengan menggunakan nilai iradiasi yang berubah-ubah dan suhu yang konstan.

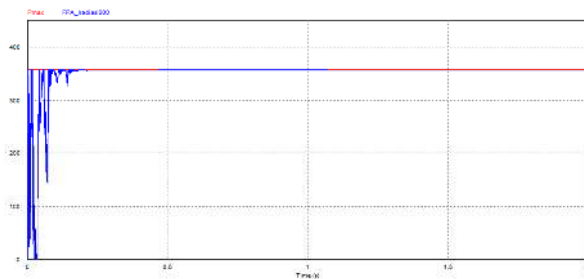


Gambar 10. Rangkaian Simulasi MPPT FPA dan P&O Pada Software PSIM

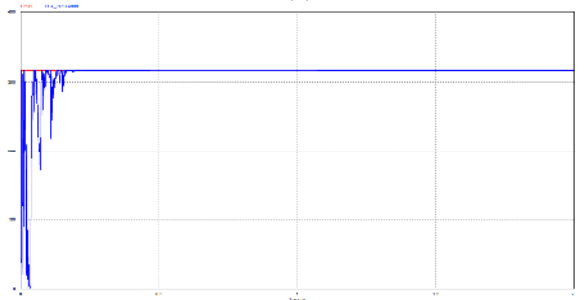
3.1. MPPT FPA

Dari hasil MPPT dengan menggunakan metode FPA ditunjukkan hasil bentuk kurva pelacakan daya pada gambar 11.

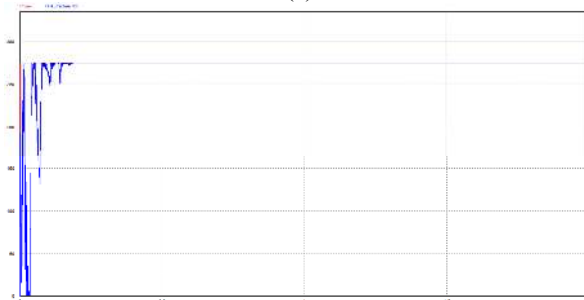




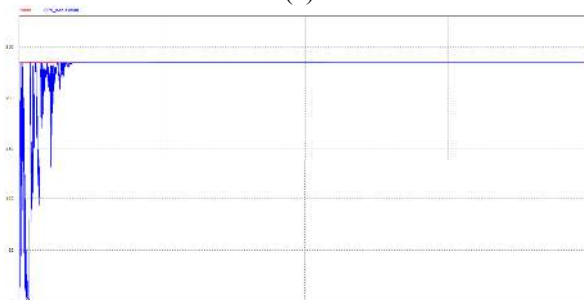
(b)



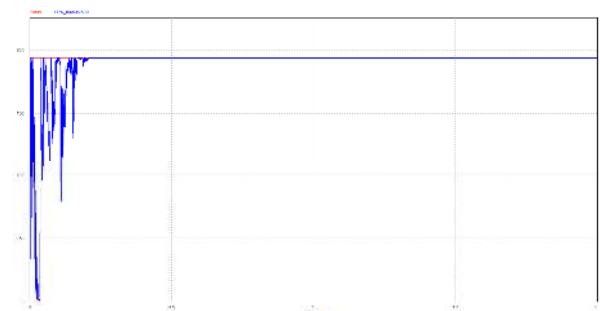
(c)



(d)



(e)



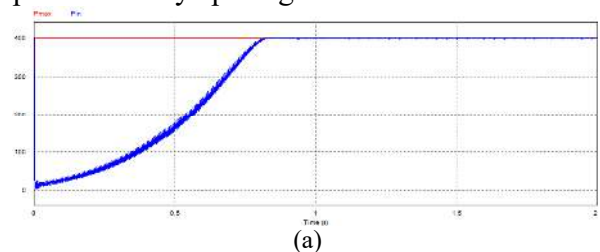
(f)

Gambar 11. Hasil Simulasi Algoritma MPPT FPA
(a)1000 W/m² (b)900 W/m² (c)800 W/m² (d)700 W/m² (e)600 W/m² (f)500 W/m²

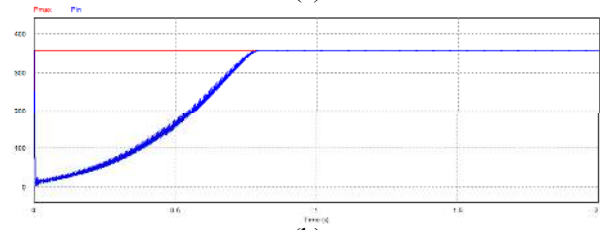
Dari kurva pelacakan daya MPPT dengan algoritma FPA yang ditunjukkan pada Gambar. Dapat diketahui bahwa algoritma tersebut menghasilkan waktu pelacakan daya maksimum yang cukup cepat dan tidak terjadi osilasi daya pada titik daya maksimum dari kurva tersebut.

3.2. MPPT P&O

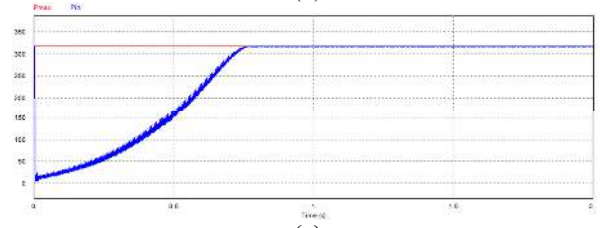
Dari hasil MPPT dengan menggunakan metode P&O ditunjukkan hasil bentuk kurva pelacakan daya pada gambar 12.



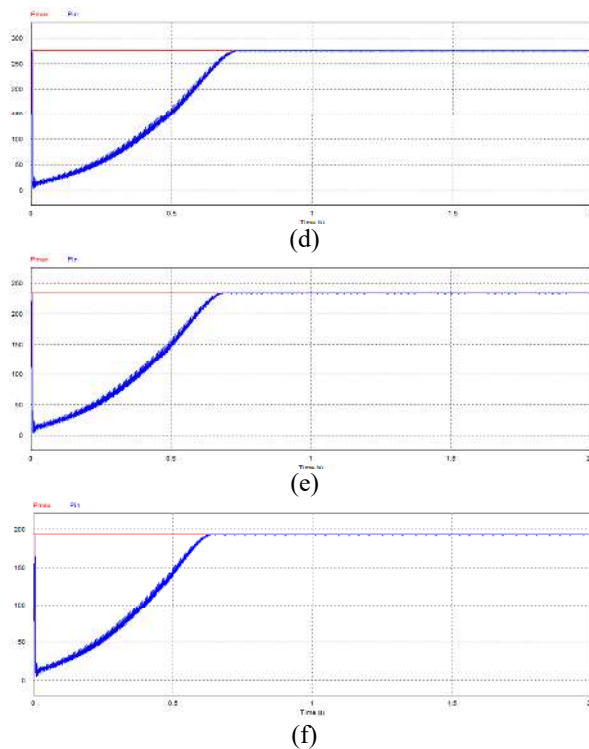
(a)



(b)



(c)



Gambar 12. Hasil Simulasi MPPT Algoritma P&O
(a)1000 W/m² (b)900 W/m² (c)800 W/m² (d)700 W/m² (e)600 W/m² (f)500 W/m²

Dari kurva MPPT dengan algoritma P&O yang ditunjukkan pada gambar 12 .Dapat diketahui waktu pelacakan (*tracking time*) dari algoritma tersebut cukup lama. Selain itu setelah daya mencapai maksimum, terjadi osilasi daya berkisar daya maksimum pada kurva tersebut.

3.3. Perbandingan MPPT FPA dan P&O

Dari hasil simulasi kedua metode MPPT tersebut dapat dibandingkan antara akurasi pelacakan daya dan waktu trackingnya. Tabel perbandingan kedua metode ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil Simulasi MPPT FPA dan P&O

Irradiasi (W/m ²)	Pmax (Watt)	Metode	P mppt (Watt)	Akurasi (%)	Waktu Tracking (detik)
1000	399,74	FPA	399,61	99,96	0,195
		P&O	399,53	99,94	0,826
900	358,20	FPA	358,08	99,96	0,186
		P&O	358,00	99,94	0,802
800	316,76	FPA	316,65	99,96	0,166
		P&O	316,30	99,85	0,780
700	275,46	FPA	275,44	99,99	0,170
		P&O	275,01	99,83	0,734
600	234,34	FPA	234,32	99,99	0,193
		P&O	234,27	99,97	0,685
500	193,47	FPA	193,42	99,97	0,210
		P&O	193,05	99,78	0,646
Rata-rata				FPA	99,97
Akurasi (%)				P&O	99,88
Waktu Tracking (detik)				FPA	0,186
				P&O	0,745

Perhitungan akurasi diperoleh dari persamaan : $Akurasi = \frac{P_{mppt}}{P_{max}} \times 100\%$ dan waktu tracking diperoleh dari pengamatan pada gelombang daya yang dihasilkan. Dari hasil perbandingan antara kedua metode MPPT dapat diketahui bahwa MPPT dengan metode FPA menghasilkan performa yang lebih baik daripada MPPT dengan metode P&O. MPPT FPA menghasilkan akurasi dan waktu tracking sebesar 99,97% dan 0,186 detik sedangkan MPPT P&O menghasilkan akurasi dan waktu tracking sebesar 99,88% dan 0,745 detik.

4. Kesimpulan

Dari hasil simulasi dapat diketahui dari kedua MPPT dapat menghasilkan daya maksimum yang dihasilkan oleh panel surya dalam kondisi iradiasi matahari yang berubah - ubah dari 500 W/m² sampai 1000 W/m².

Perbedaan yang paling terlihat antara kedua metode MPPT ada pada waktu kecepatan tracking menuju daya maksimal. Waktu tracking dari metode MPPT FPA lebih cepat daripada waktu tracking metode P&O. Selain itu perbedaan ada tidaknya terjadi osilasi pada daya maksimum.

MPPT dengan metode FPA tidak menghasilkan osilasi pada titik maksimum daya dan MPPT dengan metode P&O terjadi osilasi pada titik maksimum daya. Osilasi yang terjadi pada metode P&O tidak terlalu terlihat karena desain dan sifat dari zeta konverter menghasilkan ripple yang cukup kecil.

5. Saran

Dalam pemilihan parameter perencanaan metode FPA, diharuskan dilakukan trial dan eror agar diperoleh parameter yang sesuai sistem yang digunakan agar menghasilkan sistem yang paling optimal.

6. Daftar Pustaka

- [1] T. V. Myasnikova, A. A. Kirillova, S. P. Ivanova, O. V. Sveklova, dan O. A. Nadezhkina, "Simulation of Solar Energy Photovoltaic Conversion," dalam *2020 International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE)*, Moscow, Russia, Mar 2020, hlm. 1–4. doi: 10.1109/REEPE49198.2020.9059149.
- [2] M. S. Bouakkaz, A. Boukadoum, O. Boudebbouz, A. Bouraiou, N. boutasseta, dan I. Attoui, "ANN based MPPT Algorithm Design using Real Operating Climatic Condition," dalam *2020 2nd International Conference on Mathematics and Information Technology (ICMIT)*, Adrar, Algeria, Feb 2020, hlm. 159–163. doi: 10.1109/ICMIT47780.2020.9046972.
- [3] H. Khabou, M. Souissi, dan A. Aitouche, "MPPT implementation on boost converter by using T–S fuzzy method," *Math. Comput. Simul.*, vol. 167, hlm. 119–134, Jan 2020, doi: 10.1016/j.matcom.2018.05.010.
- [4] M. A. Dirmawan, Suhariningsih, dan R. Rakhmawati, "The Comparison Performance of MPPT Perturb and Observe, Fuzzy Logic Controller, and Flower Pollination Algorithm in Normal and Partial Shading Condition," dalam *2020 International Electronics Symposium (IES)*, Surabaya, Indonesia, Sep 2020, hlm. 7–13. doi: 10.1109/IES50839.2020.9231753.
- [5] S. Suyanto, L. Mohammad, I. C. Setiadi, dan R. Roekmono, "Analysis and Evaluation Performance of MPPT Algorithms: Perturb & Observe (P&O), Firefly, and Flower Pollination (FPA) in Smart Microgrid Solar Panel Systems," dalam *2019 International Conference on Technologies and Policies in Electric Power & Energy*, Yogyakarta, Indonesia, Okt 2019, hlm. 1–6. doi: 10.1109/IEEECONF48524.2019.9102532.
- [6] F. D. Murdianto, A. R. Nansur, A. S. L. Hermawan, E. Purwanto, A. Jaya, dan M. M. Rifadil, "Modeling and Simulation of MPPT SEPIC - BUCK Converter Series Using Flower Pollination Algorithm (FPA) - PI Controller in DC Microgrid

- Isolated System,” dalam *2018 International Electrical Engineering Congress (iEECON)*, Mar 2018, hlm. 1–4. doi: 10.1109/IEECON.2018.8712290.
- [7] E. Arfah, C. W. Priananda, dan S. I. Haryudo, “Penggunaan Algoritma Peturb And Observe (Pno) dalam Studi Penggunaan Sepic dan Zeta Konverter untuk Maximum Power Point Tracker (Mppt) pada Photovoltaic Statis,” *J. Inf. Eng. Educ. Technol.*, vol. 1, no. 1, Art. no. 1, Mar 2017, doi: 10.26740/jieet.v1n1.p27-31.
- [8] M. H. Anowar dan P. Roy, “A Modified Incremental Conductance Based Photovoltaic MPPT Charge Controller,” dalam *2019 International Conference on Electrical, Computer and Communication Engineering (ECCE)*, Cox’sBazar, Bangladesh, Feb 2019, hlm. 1–5. doi: 10.1109/ECACE.2019.8679308.
- [9] A. M. Khatab, M. I. Marei, dan H. M. Elhelw, “An Electric Vehicle Battery Charger Based on Zeta Converter Fed from a PV Array,” dalam *2018 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2018 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe)*, Palermo, Jun 2018, hlm. 1–5. doi: 10.1109/EEEIC.2018.8494541.
- [10] S. Oommen, A. Ballaji, B. Ankaiah, dan A. M. H., “ZETA CONVERTER SIMULATION FOR CONTINUOUS CURRENT MODE OPERATION,” *Int. J. Adv. Res. Eng. Technol.*, vol. 10, no. 1, Art. no. 1, Feb 2019, doi: 10.34218/IJARET.10.1.2019.024.
- [11] N. M. Elbehairy, R. A. Swief, A. M. Abdin, dan T. S. Abdelsalam, “Maximum Power Point Tracking For a Stand Alone PV System Under Shading Conditions Using Flower Pollination Algorithm,” dalam *2019 21st International Middle East Power Systems Conference (MEPCON)*, Cairo, Egypt, Des 2019, hlm. 840–845. doi: 10.1109/MEPCON47431.2019.9008230.
- [12] M. Abdel-Basset dan L. A. Shawky, “Flower pollination algorithm: a comprehensive review,” *Artif. Intell. Rev.*, vol. 52, no. 4, Art. no. 4, Des 2019, doi: 10.1007/s10462-018-9624-4.
- [13] J. P. Ram, D. S. Pillai, A. M. Y. M. Ghias, dan N. Rajasekar, “Performance enhancement of solar PV systems applying P&O assisted Flower Pollination Algorithm (FPA),” *Sol. Energy*, vol. 199, hlm. 214–229, Mar 2020, doi: 10.1016/j.solener.2020.02.019.
- [14] J. P. Ram, D. S. Pillai, A. M. Y. M. Ghias, dan N. Rajasekar, “Performance enhancement of solar PV systems applying P&O assisted Flower Pollination Algorithm (FPA),” *Sol. Energy*, vol. 199, hlm. 214–229, Mar 2020, doi: 10.1016/j.solener.2020.02.019.
- [15] S. Thakran, J. Singh, R. Garg, dan P. Mahajan, “Implementation of P&O Algorithm for MPPT in SPV System,” dalam *2018 International Conference on Power Energy, Environment and Intelligent Control (PEEIC)*, Greater Noida, India, Apr 2018, hlm. 242–245. doi: 10.1109/PEEIC.2018.8665588.