



OPTIMASI ALGORITMA FIREFLY PADA MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT) SAAT KONDISI PANEL SURYA TERHALANGI SEBAGIAN

Syamsul Fuad¹⁾, Iwan Setiawan²⁾, Trias Andromeda³⁾

^{1), 2), 3)} Departemen Teknik Elektro

Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

email : syamsulfuad@students.undip.ac.id

Received: April 19, 2022. Accepted: Juli 28, 2022

Abstrak

Tenaga surya merupakan energi alternatif yang melimpah, dengan biaya operasional yang rendah serta ramah lingkungan. Namun penggunaan panel surya untuk menghasilkan energi listrik mempunyai beberapa kekurangan, diantaranya daya yang dihasilkan dipengaruhi oleh iradiasi sinar matahari, suhu di sekitar panel surya, dan juga sudut datangnya sinar matahari. Dengan adanya hal tersebut akan menyebabkan fluktuasi pada daya yang dihasilkan dan tidak stabil. Adanya penghalang yang menghalangi sinar matahari terhadap sebagian permukaan panel surya juga menjadi persoalan serius, karena dapat menurunkan secara drastis daya yang dihasilkan oleh panel surya. Untuk mengurangi efek terhalangi sebagian tersebut dapat dilakukan dengan mengoptimalkan fungsi MPPT. Pada penelitian ini akan dilakukan analisis terhadap beberapa algoritma pada MPPT. Serta dilakukan optimasi pada algoritma Firefly. Hasil penelitian ini menunjukkan dengan algoritma firefly yang telah di optimasi dapat lebih efektif mengurangi efek terhalangi sebagian pada panel surya.

Kata Kunci : PV, *Maximum Power Point Tracking* (MPPT), *Perturb and Observe*, *Incremental Conductance*, *Firefly Algorithm*, *Partial shading*.

Abstract

Solar power is an abundant alternative energy, environmentally friendly and has low operating costs. However, the use of solar panels to generate electrical energy has several weaknesses, including the electricity generated is influenced by solar irradiation, the temperature around the solar panels, and also the angle of incidence of sunlight. With this, the power generated will fluctuate and become unstable. The existence of a barrier that blocks sunlight from part of the surface of the solar panel is also a serious problem, because it can drastically reduce the power generated by the solar panel. To reduce the partially blocked effect, it can be done by optimizing the MPPT function. In this study, an analysis of several algorithms on MPPT will be carried out. As well as optimization of the Firefly algorithm. The results of this study indicate that the optimized firefly algorithm can more effectively reduce the partially blocked effect on solar panels.

Keyword: PV, Maximum Power Point Tracking (MPPT), Perturb and Observe, Incremental Conductance, Firefly Algorithm, Partial shading.

PENDAHULUAN

Sumber energi fosil yang terbatas membuat orang berusaha untuk terus mengembangkan sumber

energi terbarukan. Energi matahari merupakan salah satu alternatif sumber energi yang sedang di kembangkan. Untuk mengubah energi matahari (surya) menjadi energi listrik diperlukan suatu alat yang berupa panel surya. Kelebihan dari tenaga

surya adalah sumber energinya yang melimpah, biaya operasional yang rendah serta ramah lingkungan.

Namun penggunaan panel surya untuk menghasilkan energi listrik mempunyai beberapa kekurangan, diantaranya listrik yang di hasilkan dipengaruhi oleh iradiasi sinar matahari, suhu di sekitar panel surya, dan juga sudut datangnya sinar matahari. Dengan adanya hal tersebut akan menyebabkan fluktuasi pada daya yang dihasilkan dan tidak stabil.

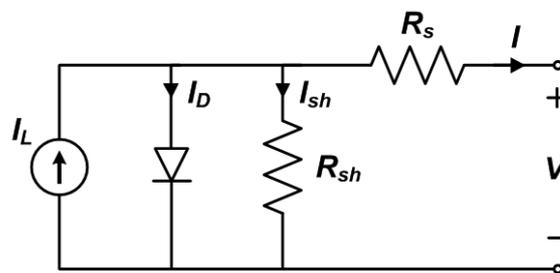
Hal lain yang mempengaruhi adalah, adanya benda yang menghalangi sinar matahari terhadap sebagian permukaan panel surya, hal ini bisa di sebabkan oleh pepohonan di sekitar panel surya, daun kering yang jatuh pada panel surya, burung yang hinggap pada instalasi panel surya, dan juga perbedaan sudut atau posisi instalasi panel surya sehingga memungkinkan sebagian permukaan salah satu panel terhalang sinar matahari, sedangkan panel surya yang lain tidak terhalang.

Adanya penghalang yang menghalangi sinar matahari terhadap sebagian permukaan panel surya ini sebenarnya menjadi persoalan serius, karena dapat menurunkan secara drastis daya yang dihasilkan oleh panel surya, hal ini bisa terjadi karena panel surya yang terhalangi terjadi reverse bias dan dapat berubah menjadi beban / load.

Untuk mengurangi efek halangan sinar matahari pada sebagian permukaan panel surya ini ada dua pendekatan, yang pertama melalui pendekatan hardware. Seperti memberikan solar tracker pada instalasi panel surya, atau memberikan controller pada tiap bagian panel surya. Pendekatan ini dinilai rumit dan mahal. Pendekatan yang kedua adalah melalui pendekatan software. Yaitu mengembangkan algoritma untuk mencari titik daya maksimum pada controller (MPPT).

Prinsip Kerja PV

Sel PV pada dasarnya terdiri dari lapisan silicon tipis tipe N (Negatif) yang dicampuri unsur fosfor dan lapisan silicon tebal tipe P (Positif) yang dicampur dengan unsur Boron. Lapisan silicon jenis N adalah semikonduktor yang kelebihan electron sehingga muatan negatifnya berlebih. Sedangkan lapisan silicon jenis P adalah semikonduktor yang kelebihan proton sehingga muatan positifnya berlebih. Saat kedua lapisan P N tersebut bertemu, medan listrik muncul di dekat permukaan atas sel tersebut. Medan listrik yang timbul itu kemudian memberi momentum dan pergerakan electron bebas yang dipicu oleh photon matahari yang menyentuh permukaan sel PV sehingga menghasilkan aliran arus ketika sel PV dihubungkan ke beban listrik. Rangkaian equivalen sel PV dapat di gambarkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian equivalen sel PV

Pemodelan Matematik Sel PV

Rangkaian equivalen sel PV dapat digambarkan sebagai sumber arus ideal, dioda, resistansi parallel dan resistansi seri. Arus searah yang dihasilkan dari sumber arus ideal berbanding lurus dengan iradiasi

cahaya matahari yang diterima sel (PV). Resistansi seri dan parallel menunjukkan nilai tegangan yang berkurang sampai kontak terminal luar dan arus bocor sepanjang jalur sel PV.[1]

Arus keluaran yang disalurkan dari panel (PV) ke beban dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut :

$$I = I_{ph} - I_o \left(\exp \frac{q(V + R_s I)}{NKT} - 1 \right) - \frac{(V + R_s I)}{R_{sh}}$$

Dimana :

- I : Arus output sel PV (A).
- I_{ph} : Arus sumber PV dari iradiasi cahaya (A).
- I_o : Arus saturasi dioda (A).
- q : Konstanta muatan elektron = 1.6x10⁻¹⁹ (coulombs).
- K : Konstanta Boltzman (j/K).
- R_s : Resistansi seri (ohm)

R_{sh} : Resistansi shunt (ohm).

V : Tegangan output sel PV (V)

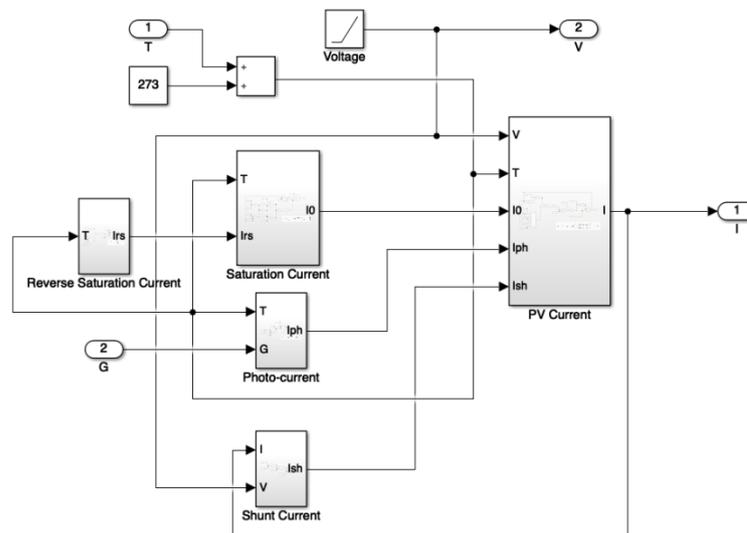
Arus I_{ph} adalah arus yang dihasilkan dari konversi cahaya yang dirumuskan dengan persamaan :

$$I_{ph} = [I_{sc} + k_i \cdot (T - 298)] \cdot \frac{G}{1000}$$

Dimana :

- I_{sc} : Arus Short Circuit (A)
- k_i : Koefisien suhu sel PV.
- T : Suhu sel PV
- G : Iradiasi sinar matahari.

Dari persamaan di atas dapat disimulasikan pada perangkat lunak Matlab Simulink dengan diagram sebagai berikut :



Gambar 2. Model diagram sel PV pada Matlab Simulink

Pada penelitian ini, parameter sel PV yang digunakan adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Parameter Sel PV

Parameter	Nilai
Maximum Power	250.95 Watt
Maximum Power Current	5.84 Ampere
Maximum Power Voltage	42.8 Volt
Short Circuit Current	6.20 Ampere

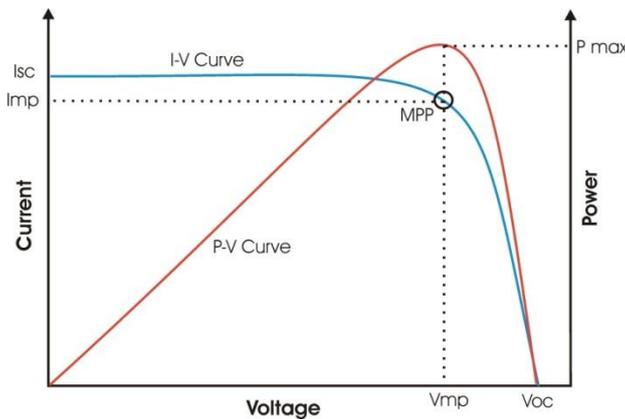
Open Circuit Voltage

50.93 Volt

Kurva I-V (Arus-Tegangan), P-V (Daya-Tegangan) dan Maksimum Power point (MPP) dari PV

Kurva I-V (arus-tegangan) dari PV menggambarkan kemampuan konversi energinya pada kondisi iradiasi yang ada. Secara konsep, kurva I-V mewakili kombinasi arus dan tegangan dimana PV dapat dioperasikan atau diberi beban, jika iradiasi dan suhu PV konstan. Sedangkan kurva

P-V merupakan kurva daya dan tegangan yang menunjukkan daya PV yang dihitung dari kurva I-V yang terukur. Dari hasil simulasi di dapatkan kurva karakteristik sel PV yang menunjukkan hubungan arus terhadap tegangan dan daya terhadap tegangan.



Gambar 3. Kurva I-V dan P-V

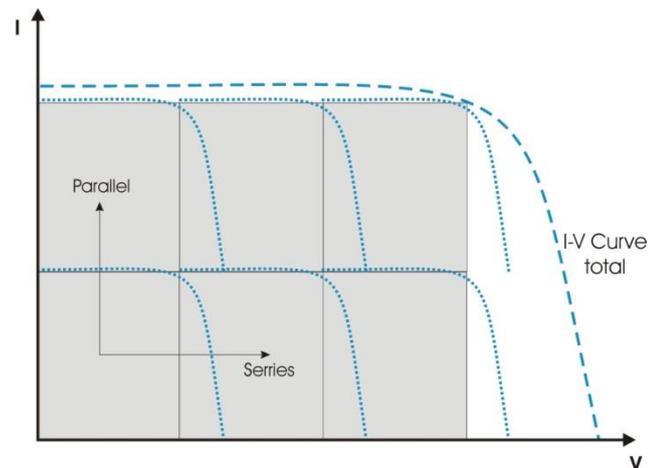
Berdasarkan kurva I-V dan P-V di atas, rentang kurva I-V berkisar dari arus *short-circuit* (I_{sc}) pada tegangan nol volt, sampai arus nol pada tegangan *open-circuit* (V_{oc}). Titik daya maksimum (MPP) terletak pada lutut kurva I-V normal (I_{mp} , V_{mp}), yaitu titik dimana PV menghasilkan daya listrik maksimal.[2]

Karakteristik PV Seri dan Paralel

Panel surya merupakan gabungan dari beberapa sel *Photovoltaic* (PV). Sebuah sel PV merupakan unit dasar yang dapat menghasilkan tegangan 0,5 volt

sampai 0,8 volt tergantung teknologi yang digunakan. Tegangan kurang jika digunakan secara umum, oleh karena itu sel PV di integrasikan dan dihubungkan dalam sebuah modul agar menghasilkan tegangan yang lebih besar.

Panel surya merupakan gabungan secara seri dan/atau paralel dari beberapa sel PV. Kurva I-V dari susunan PV merupakan kurva dengan skala yang lebih besar dari kurva I-V dari PV tunggal. Kurva I-V Panel surya dapat diilustrasikan pada gambar 4.



Gambar 4. Kurva I-V Panel Surya yang Terbentuk dari Susunan Seri dan Parallel Beberapa PV

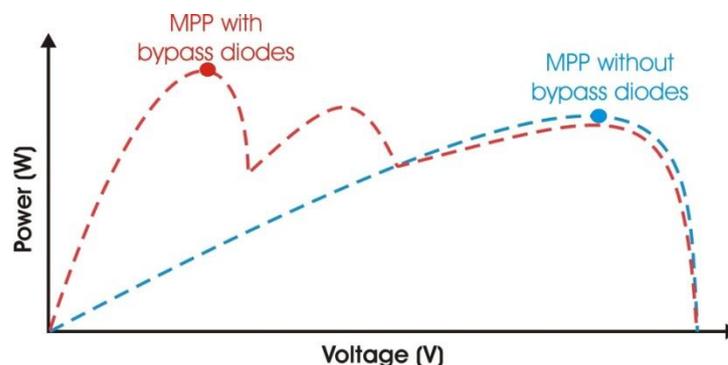
Dalam sebuah panel surya, misalkan disusun dari M-seri dan N-paralel sel PV dengan tanpa halangan atau bayangan, tegangan pada MPP, arus pada MPP dan MPP pada panel surya secara berturut-turut diwakili oleh V_{mp} , I_{mp} , dan P_{mp} . Maka, tegangan pada MPP dari susunan M-seri dan N-paralel adalah $M \times V_{mp}$, arus pada MPP adalah $N \times I_{mp}$, dan daya maksimum adalah $M \times N \times P_{mp}$.

Karakteristik Panel Surya pada Saat Terhalangi Sebagian atau Partial Shading Condition

Partial Shading Condition adalah kondisi dimana ada benda yang menghalangi sinar matahari terhadap sebagian permukaan panel surya, hal ini

bisa disebabkan oleh awan, pepohonan di sekitar panel surya, daun kering yang jatuh pada panel surya, burung yang hinggap pada instalasi panel surya, dan juga perbedaan sudut atau posisi instalasi panel surya sehingga memungkinkan sebagian permukaan salah satu panel terhalang sinar matahari, sedangkan panel surya yang lain tidak terhalang. Hal tersebut diatas menyebabkan panel surya menerima iradiasi yang tidak seragam. Konsekuensinya adalah daya maksimum dari modul PV yang terkena bayangan akan berkurang

Untuk mengatasi masalah tersebut, digunakan bypass dioda dalam modul panel surya, sehingga timbul karakteristik P-V dengan beberapa MPP. Gambar 5 menunjukkan perbedaan karakteristik panel surya dengan dan tanpa bypass dioda.



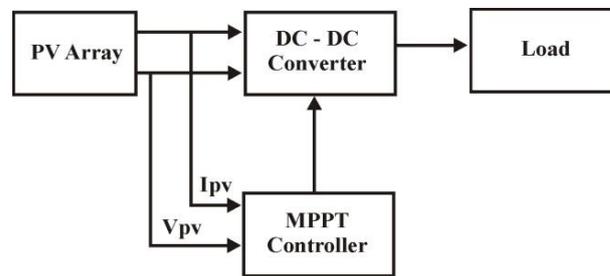
Gambar 5. Perbedaan Karakteristik Kurva P-V Panel Surya dengan Bypass Diode dan Tanpa Bypass Diode

Karena output dari panel surya pada saat kondisi partial shading menunjukkan karakteristik yang rumit, maka dibutuhkan algoritma yang powerfull untuk melacak titik daya maksimum (MPP) dari panel surya.[3][4]

Maksimum Power Point Tracking (MPPT)

MPPT adalah suatu teknik untuk memaksimalkan output yang dihasilkan oleh PV. MPPT memiliki fungsi untuk menelusuri atau melacak daya yang dihasilkan PV agar selalu berada di titik maksimum dalam kondisi suhu dan iradiasi lingkungan yang

selalu berubah. MPPT terbagi menjadi dua bagian utama, antara lain MPPT Controller yang berupa algoritma MPPT dan DC-DC converter atau konverter arus searah. Beberapa contoh algoritma M.P.P.T. yang sering digunakan untuk aplikasi sistem panel surya adalah Incremental Conductance (INC) dan Perturb and Observe (P&O). Sedangkan DC-DC converter atau konverter arus searah memiliki fungsi untuk menaikkan dan menurunkan tegangan yang dari panel surya. Gambar 6 menunjukkan diagram blok *Maksimum Power Point Tracking (MPPT)*.

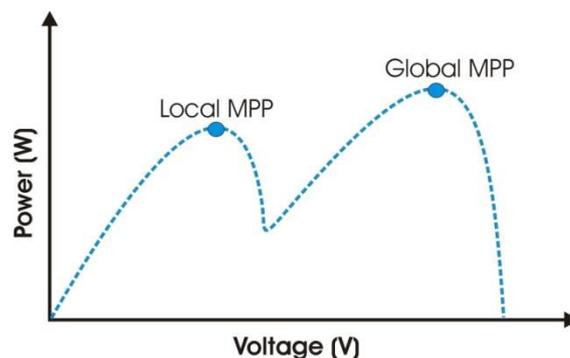


Gambar 6. Diagram Maksimum Power Point Tracking (MPPT)

MPPT Controller

MPPT Controller berupa sebuah Algoritma yang dipakai untuk melacak titik daya maksimum (MPP) pada tiap nilai iradiasi matahari. Panel surya pada umumnya tidak bisa secara kontinyu bekerja pada

titik kerja maksimum-nya, tetapi sebaliknya harus dikendalikan. MPPT Controller inilah yang dipakai untuk melacak titik daya maksimum panel surya serta mempertahankan pada titik tersebut.[5]



Gambar 7. Karakteristik P-V dari 2 Panel Surya yang Memiliki 2 Titik Puncak Daya (MPP)

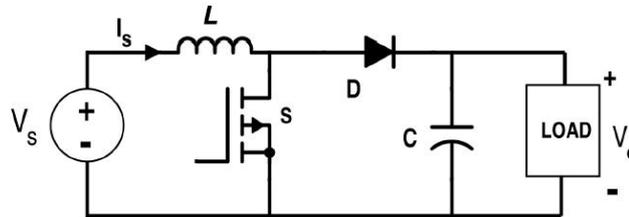
Output dari MPPT Controller adalah berupa dutty cycle untuk mengontrol pensaklaran DC-DC Converter. Dalam simulasi yang menggunakan

perangkat lunak Matlab Simulink, MPPT Controller dapat berupa function atau statechart.

DC – DC Converter

Ada beberapa jenis DC-DC Converter atau konverter arus searah, antara lain Boost Converter untuk menaikkan tegangan, Buck Converter untuk menurunkan tegangan, dan Buck Boost Converter untuk menaikkan & menurunkan tegangan.

Rangkaian DC-DC Converter terdiri dari Induktor, mosfet, Dioda, dan Capacitor. Tegangan keluaran tergantung pada besar kecilnya nilai duty cycle pada mosfet. Pada penelitian ini menggunakan DC-DC Converter tipe boost converter.

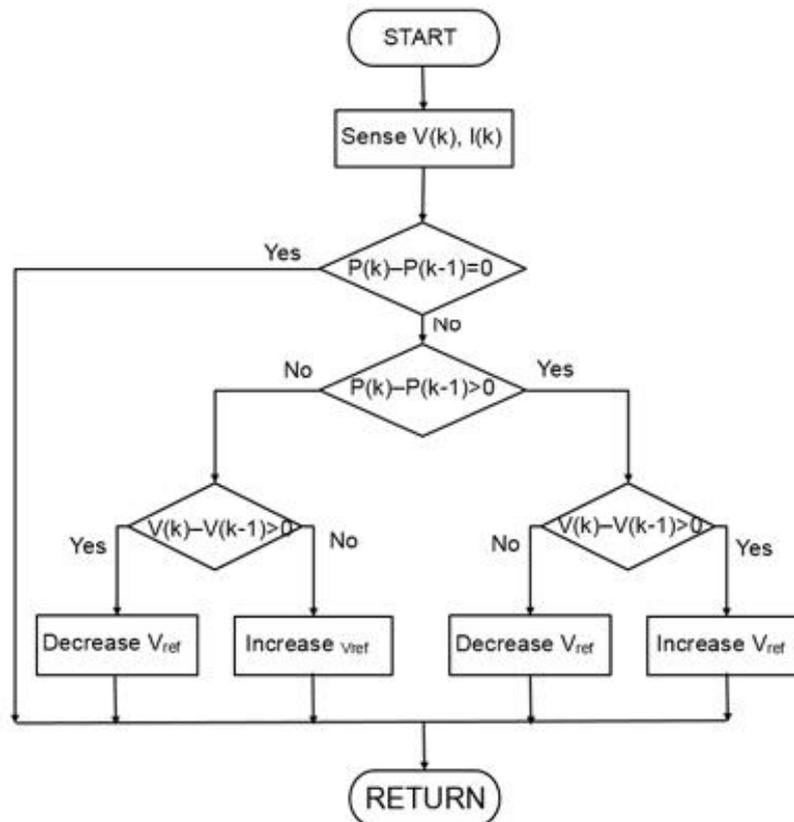


Gambar 8. Skema dasar Boost Converter

Pertube and Observe

Metode *P&O* merupakan suatu algoritma untuk melacak titik maksimum daya pada PV yang bekerja sesuai dengan nilai selisih tegangan dan selisih daya yang dihasilkan oleh panel surya.

Algoritma PnO bekerja berdasar pada observasi daya keluaran panel surya dan memberi intervensi berupa mengubah nilai duty cycle.[6][7][8]



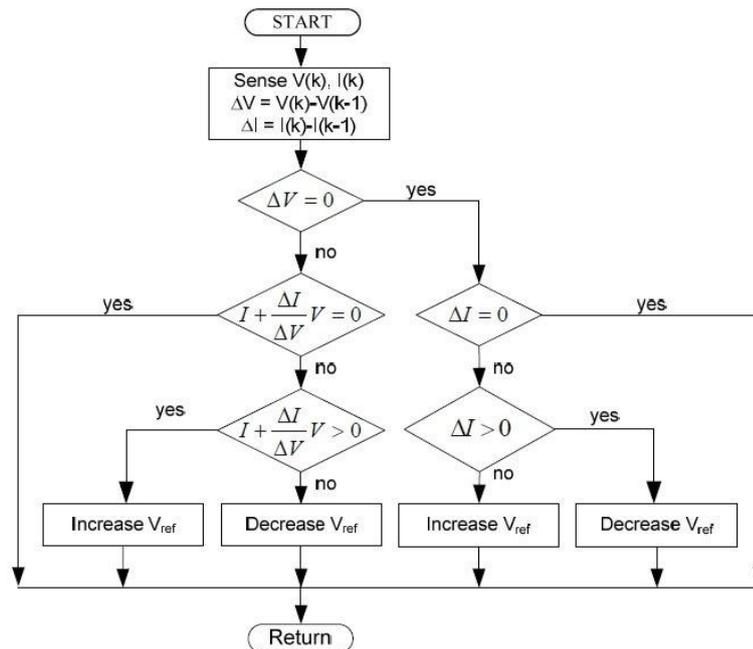
Gambar 9. Diagram alir algoritma Perturb & Observe

Incremental Conductance

Konsep yang mendasari Algoritma (INC) adalah sesuai kurva karakteristik PV. Nilai kemiringan kurva daya panel surya akan bernilai 0 saat mencapai titik Maximum Power Point, nilai kemiringan akan turun apabila berada di samping kanan titik Maximum Power Point, dan akan naik apabila berada di samping kiri titik Maximum Power Point.

Perubahan pada V_{ref} yang diberikan INC tetap. Besar perubahan pada V_{ref} tersebut diperhitungkan

dari waktu pelacakan menuju nilai maksimum dan oscilasi pada nilai maksimum. Kedua parameter tersebut mempunyai hubungan yang terbalik, sehingga selalu mendapat kompensasi untuk setiap parameter yang akan diperbaiki. Perubahan pada V_{ref} yang besar akan mempercepat waktu pelacakan, namun sulit mencapai VMPP dan menyebabkan oscilasi di sekitar Maximum Power Point.[9]



Gambar 10. Diagram alir algoritma Incremental Conductance

Firefly Algorithm

Firefly algorithm atau algoritma kunang-kunang adalah algoritma metaheuristic yang terinspirasi dari perilaku koloni kunang kunang. Kunang kunang memiliki kemampuan untuk memancarkan cahaya yang berkedip. Fungsi kedipan cahaya kunang kunang adalah untuk komunikasi dengan kunang-kunang yang lain dan untuk menarik pasangan. Juga berfungsi sebagai metode pertahanan diri mereka. Karakteristik algoritma kunang-kunang mempunyai 3 aturan sebagai berikut :[10][11][12]

1. Semua kunang-kunang bersifat unisex, hal ini menyebabkan semua kunang kunang saling tertarik antara satu dan yang lain dengan tidak dipengaruhi jenis kelamin.

2. Tingkat ketertarikan sesuai dengan tingkat kecerahan cahaya nya. Kunang kunang yang mempunyai tingkat kecerahan cahaya lebih tinggi akan menarik kunang kunang yang mempunyai tingkat kecerahan cahaya lebih rendah. Kecerahan cahaya berbanding terbalik dengan jarak. Semakin dekat akan semakin cerah, semakin jauh akan semakin redup
3. Fungsi tingkat intensitas cahaya yang dihasilkan kunang kunang di pengaruhi oleh fungsi dari sistem yang akan dioptimasi.

Algoritma kunang-kunang mempunyai hal yang paling mendasar yaitu variasi intensitas cahaya dan formulasi dari daya tarik. Daya tarik dipengaruhi

tingkat intensitas cahaya yang berkaitan dengan fungsi dari sistem yang akan dioptimasi. Misal ada 2 ekor kunang kunang, p dan q, yang mempunyai jarak r_{pq} dan masing masing posisi kunang kunang tersebut adalah X_p dan X_q yang merepresentasikan duty cycle pada MPPT.

$$r_{pq} = \|x_p - x_q\|$$

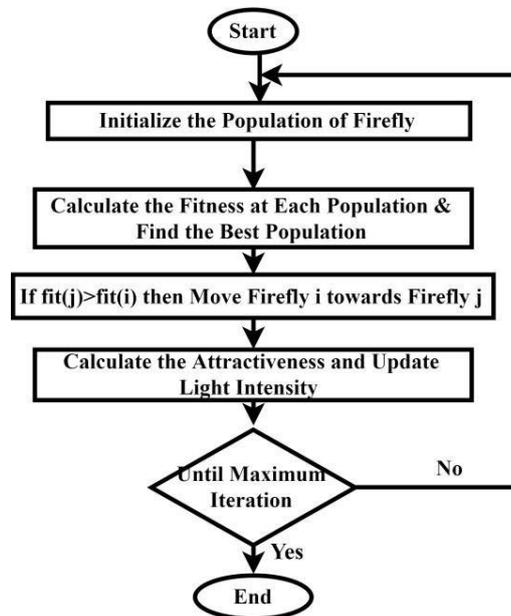
$$\beta(r) = \beta_0 e^{-\gamma(r_{pq})^n}, n \geq 1$$

β_0 adalah inisial derajat ketertarikan, biasanya memiliki nilai 1. Jika kunang kunang p lebih redup

dari pada kunang kunang q. Maka, posisi baru akan diperoleh oleh kunang-kunang q sesuai dengan persamaan berikut:

$$X_p^{t+1} = X_p^t + \beta(r)(X_p - X_q) + \alpha \left(rand - \frac{1}{2} \right)$$

Rand adalah nilai acak yang terdistribusi dari 0 dan 1. Besarnya nilai membuat pergerakan untuk mencari tempat yang jauh dan bila nilainya kecil maka cenderung mencari pada tempat yang lebih dekat.



Gambar 11. Diagram Alir Algoritma Firefly

METODE PENELITIAN

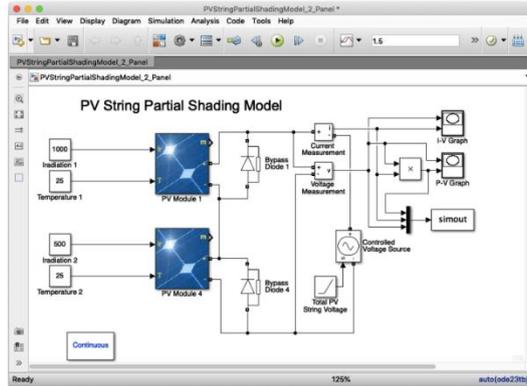
Dalam penelitian ini, dilakukan perbandingan antara algoritma P&O, algoritma INC, dan algoritma Firefly untuk MPPT pada Panel surya yang berada pada kondisi terhalangi sebagian. Tahapan tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah studi literatur, pengambilan grafik karakteristik PV, simulasi MPPT dengan algoritma P&O, INC dan FA, membandingkan performa pelacakan algoritma P&O dan INC, Optimasi algoritma FA kemudian diambil kesimpulan.

Pengambilan Grafik Karakteristik PV

Dalam penelitian ini digunakan rangkaian PV sebanyak 2 modul PV yang dipasang secara seri (2S). Penggunaan rangkaian 2 seri ini bertujuan untuk mendapatkan grafik yang memiliki 2 puncak.

Rangkaian PV ini dimodelkan dengan menggunakan perangkat lunak Matlab Simulink, dengan mensimulasikan dengan beberapa variasi bayangan pada PV dengan memberikan nilai iradians yang berbeda, untuk memperoleh grafik karakteristik I-V (arus-tegangan) dan P-V (daya-tegangan) dengan letak maksimum power point (MPP) yang berbeda.

Pemodelan rangkaian PV dengan menggunakan Matlab Simulink ditunjukkan seperti gambar 12.

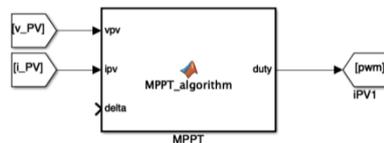


Gambar 12. Pemodelan rangkaian PV 2S

Simulasi MPPT Menggunakan Algoritma P&O, INC dan Firefly

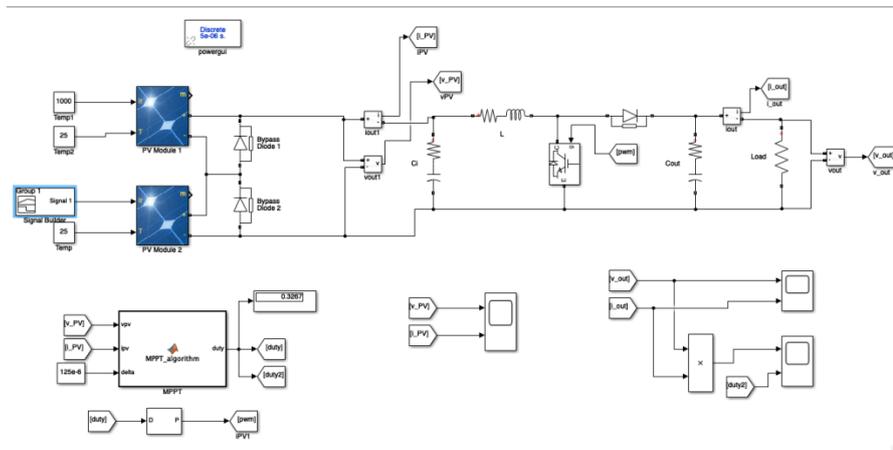
Variasi kurva yang telah dibentuk menggunakan simulasi Matlab Simulink akan dilacak maksimum power point (MPP) nya menggunakan algoritma P&O, INC dan Firefly, pelacakan ini juga di simulasikan dengan Matlab Simulink.

Tujuan dari MPPT ini adalah memperoleh V_{ref} yang akan dibandingkan dengan V dari PV, sehingga diperoleh error yang menjadi masukan dari controller. Controller ini yang akan mengatur duty cycle boost converter.



Gambar 13. MPPT Controller pada Matlab Simulink

Skematik rangkaian keseluruhan simulasi MPPT menggunakan algoritma P&O, INC dan Firefly ditunjukkan pada Gambar 14.

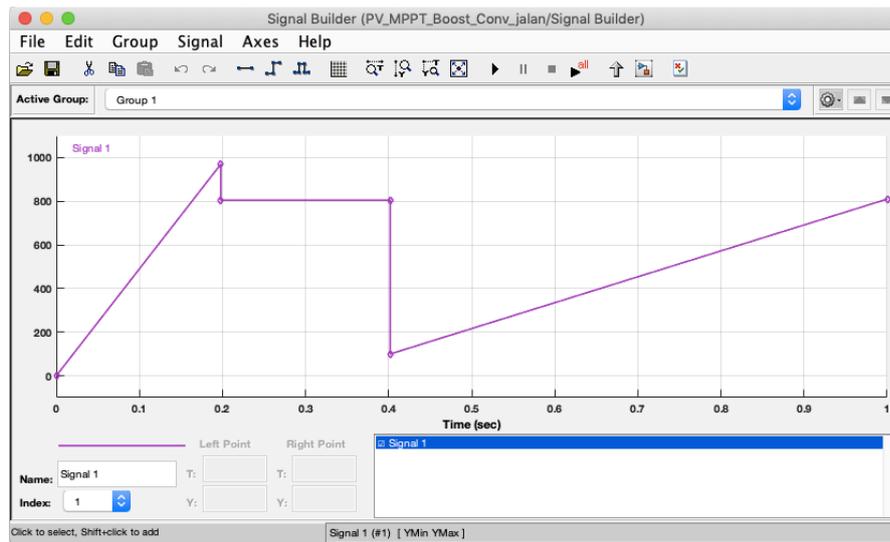


Gambar 14. Skematik Rangkaian Simulasi MPPT

Pengujian Dengan Pola Bayangan Dinamis

Untuk mengetahui kinerja dari algoritma P&O, INC dan Firefly pada saat panel surya partial shading atau terhalangi sebagian, maka dibuatkan skenario pada simulasi dengan membuat salah satu

panel surya diberikan nilai iradians yang dinamis. Dimulai dari 0 kemudian naik ke 1000 kemudian turun lagi ke 800, kemudian turun lagi ke 100 dan yang terakhir naik lagi ke 800. Gambar skenario iradiasi sinar matahari dapat ditunjukkan pada gambar 15.



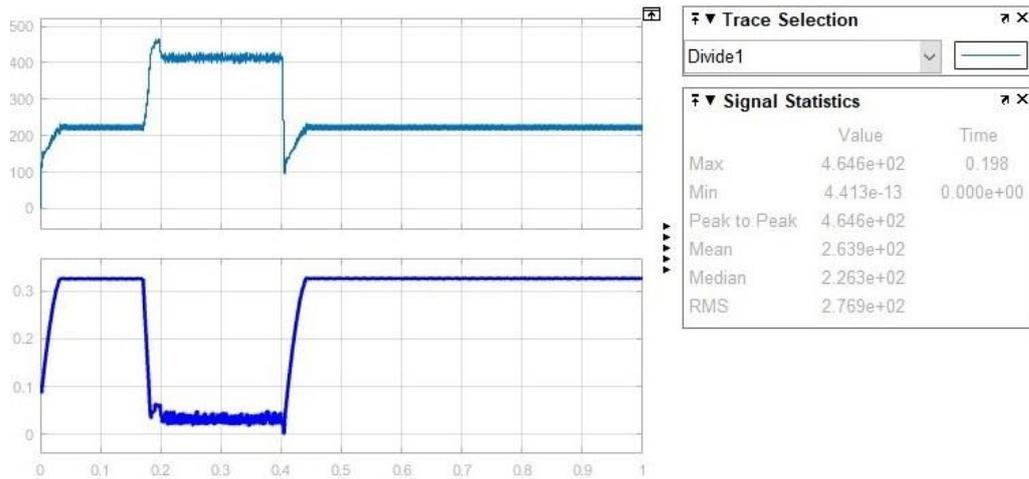
Gambar 15. Skenario iradiasi sinar matahari pada signal builder

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Dengan Algoritma P&O

Pengujian dengan menggunakan algoritma P&O menghasilkan grafik sebagai berikut, pada saat Iradiasi matahari maksimal, MPPT bisa bekerja pada puncak daya, namun ketika nilai iradiasi turun

drastis dan perlahan naik, puncak daya ikut turun drastis, namun tidak segera naik kembali atau terjebak pada lokal daya maksimum. Grafik daya hasil pengujian dengan algoritma P&O di tunjukkan pada Gambar 16.



Gambar 16. Grafik Daya dengan Algoritma PnO

Hasil Pengujian Dengan Algoritma INC

Pada grafik hasil pengujian dengan menggunakan algoritma INC terlihat, pada saat Iradiasi matahari maksimal, MPPT bisa bekerja pada puncak daya,

ketika nilai iradiasi turun drastis dan perlahan naik puncak daya ikut turun drastis, dan perlahan naik kembali namun belum bisa mencapai global daya maksimum. Grafik daya hasil pengujian dengan algoritma INC di tunjukkan pada Gambar 17.

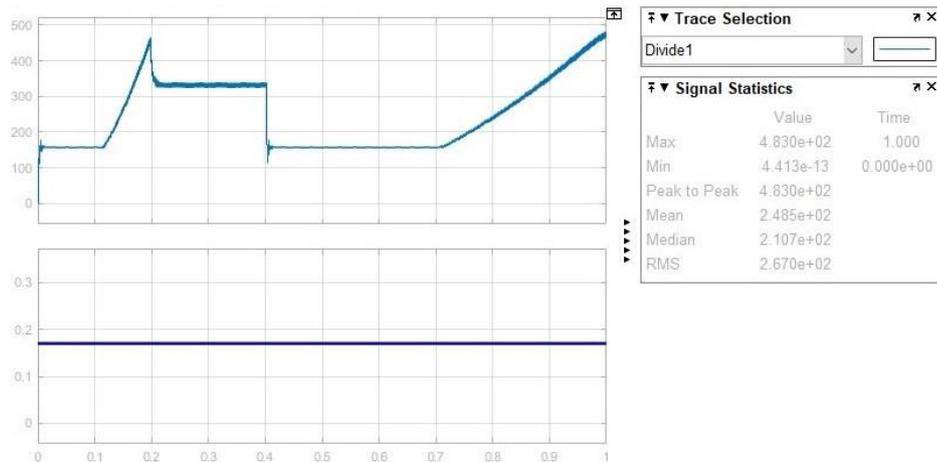


Gambar 17. Grafik Daya dengan Algoritma INC

Hasil Pengujian Dengan Algoritma Firefly

Pada grafik hasil pengujian dengan menggunakan algoritma Firefly terlihat, pada saat Iradiasi matahari maksimal, MPPT bisa bekerja pada puncak daya, ketika nilai iradiasi turun drastis dan

perlahan naik puncak daya ikut turun drastis, dan perlahan naik kembali dan bisa mencapai global daya maksimum. Grafik daya hasil pengujian dengan algoritma INC di tunjukkan pada Gambar 18.

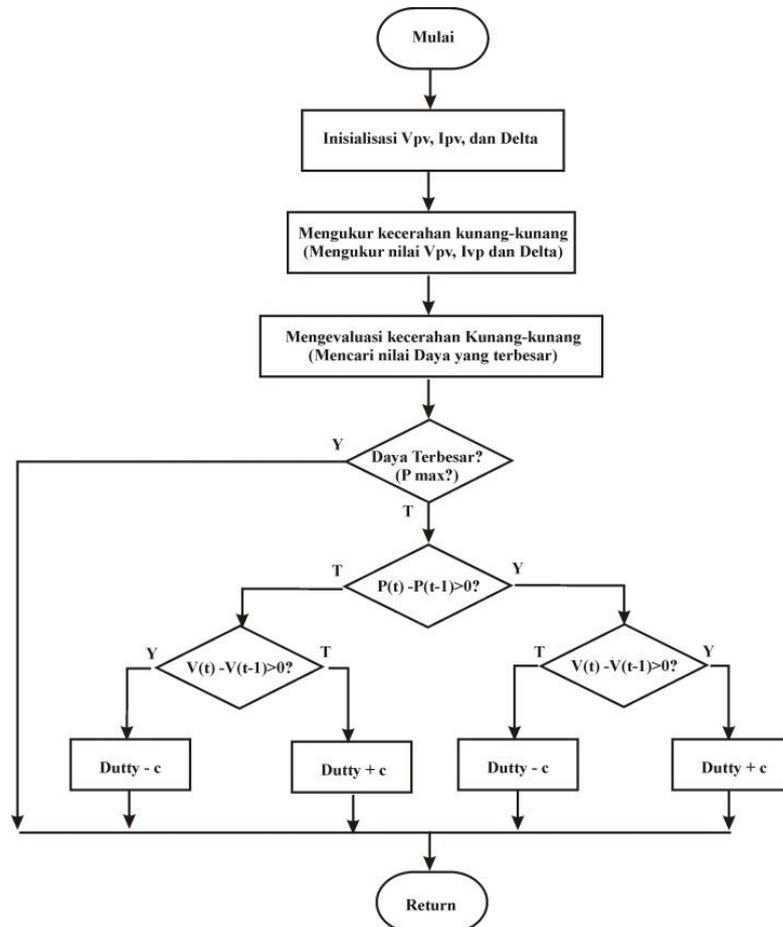


Gambar 18. Grafik Daya dengan Algoritma Firefly

Optimasi Algoritma Firefly

Agar mendapatkan MPPT dengan performa yang maksimal, pada penelitian ini dilakukan optimasi pada algoritma Firefly. Modifikasi yang dilakukan adalah pada level akhir pada algoritma Firefly, dengan mengkonfirmasi kembali selisih daya dan

selisih tegangan yang dihasilkan panel surya, kemudian dilakukan observasi dengan menambahkan atau mengurangi nilai dutty cycle agar di dapatkan waktu konvergensi yang cepat dan daya yang paling besar. Diagram alur dari algoritma Firefly yang sudah di optimasi ditunjukkan pada Gambar 19.

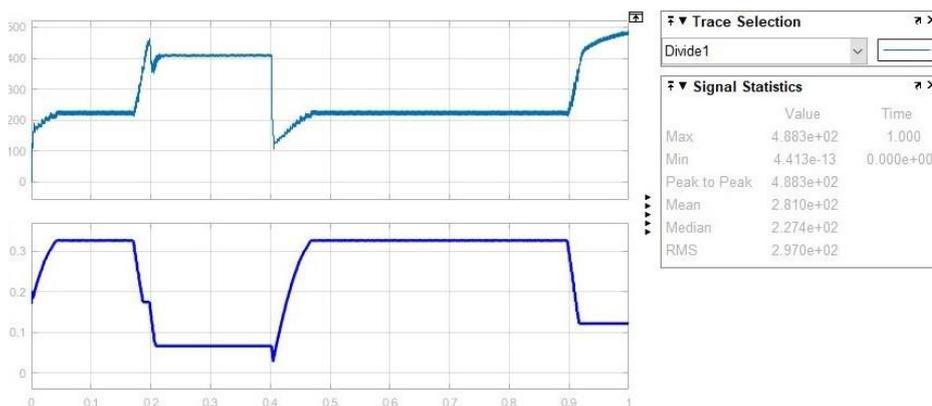


Gambar 19. Flowchart Algoritma Firefly yang di Optimasi

Hasil Pengujian Dengan Optimized FA

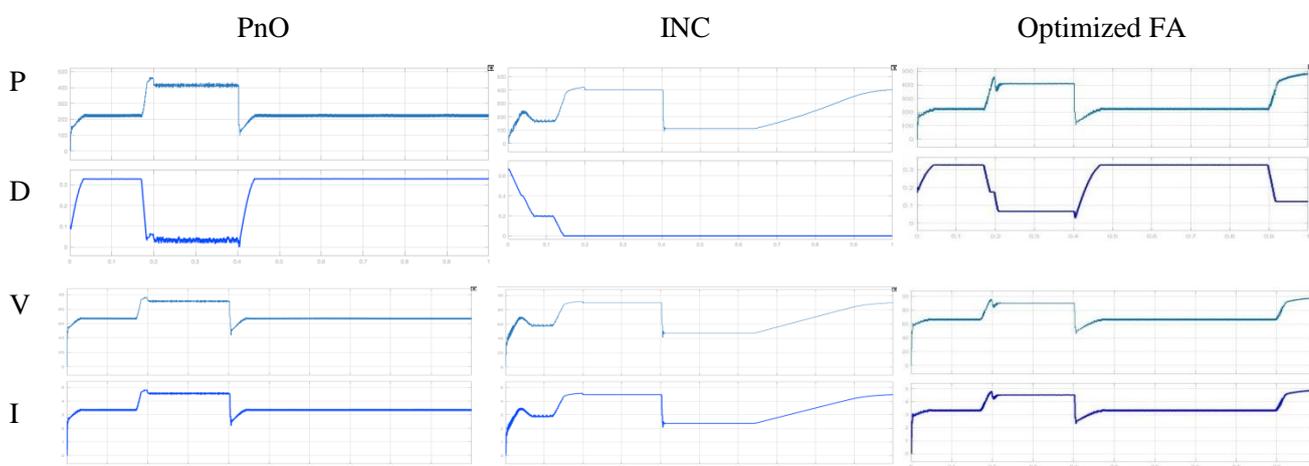
Pada grafik hasil pengujian dengan menggunakan algoritma Firefly yang sudah di optimasi terlihat peningkatan yang signifikan, pada saat Iradiasi matahari maksimal, MPPT bisa bekerja pada

puncak daya, ketika nilai iradiasi turun drastis dan perlahan naik puncak daya ikut turun drastis, namun segera naik kembali dan dapat mencapai global daya maksimum. Grafik daya hasil pengujian dengan algoritma optimized FA di tunjukkan pada Gambar 20.



Gambar 20. Grafik Daya dengan Optimized FA

Tabel 2. Perbandingan Grafik Hasil Pengujian Algoritma PnO, INC, dan Optimized FA



Keterangan :

- P : Power (Daya)
- D : Dutty cycle
- V : Tegangan
- I : Arus

Tabel 3. Perbandingan Hasil Pengujian Algoritma PnO, INC, FA dan Optimized FA

ALGORITMA	DAYA / Watt										Rata-rata
PnO	231,38	421,24	404,63	413,50	231,37	231,38	231,38	231,39	231,39	231,4	285,91
INC	169,10	403,73	402,01	402,01	112,10	112,10	154,67	245,29	352,56	402,73	275,63
FA	160,12	398,73	336,80	336,80	160,11	160,11	160,13	244,71	359,39	483,00	279,99
FA Optimasi	231,38	392,90	411,62	411,62	231,37	231,38	231,39	231,39	232,58	488,30	309,39

Waktu Tracking	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
----------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	---

KESIMPULAN

1. Algoritma P&O mempunyai waktu konvergen yang cepat, namun pada saat terjadi parsial shading atau terhalangi sebagian pada panel surya, pelacakan cenderung terjebak pada lokal daya maksimum.
2. Algoritma INC dalam melakukan pelacakan pada saat terjadi partial shading juga cenderung tidak terjebak pada lokal daya maksimum, namun sulit mencapai global daya maksimum.
3. Algoritma Firefly dalam melakukan pelacakan pada saat terjadi partial shading juga cenderung tidak terjebak pada lokal daya maksimum, dan perlahan dapat mencapai global daya maksimum.
4. Algoritma Firefly yang sudah di optimasi (Optimized FA) terbukti dapat melakukan pelacakan pada saat kondisi partial shading dengan performa yang paling bagus di antara algoritma P&O, INC dan Firefly, tidak terjebak pada lokal daya maksimum, dan dapat mencapai global daya maksimum dengan cepat.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] Y. J. Wang and P. C. Hsu, "Analytical modelling of partial shading and different orientation of photovoltaic modules," *IET Renew. Power Gener.*, vol. 4, no. 3, pp. 272–282, 2010, doi: 10.1049/iet-rpg.2009.0157.
- [2] Solmetric, "Guide To Interpreting I-V Curve Measurements of PV Arrays," *Appl. Note PVA-600-1*, p. 23, 2011, [Online]. Available: <http://resources.solmetric.com/get/GuidetoInterpretingIV-Curves.pdf>.
- [3] H. Renaudineau, A. Houari, J. P. Martin, S. Pierfederici, F. Meibody-Tabar, and B. Gerardin, "A new approach in tracking maximum power under partially shaded conditions with consideration of converter losses," *Sol. Energy*, vol. 85, no. 11, pp. 2580–2588, 2011, doi: 10.1016/j.solener.2011.07.018.
- [4] A. Dolara, G. C. Lazaroiu, S. Leva, and G. Manzolini, "Experimental investigation of partial shading scenarios on PV (photovoltaic) modules," *Energy*, vol. 55, pp. 466–475, 2013, doi: 10.1016/j.energy.2013.04.009.
- [5] H. Rezk and A. M. Eltamaly, "A comprehensive comparison of different MPPT techniques for photovoltaic systems," *Sol. Energy*, vol. 112, pp. 1–11, 2015, doi: 10.1016/j.solener.2014.11.010.
- [6] R. Alik and A. Jusoh, "Modified Perturb and Observe (P&O) with checking algorithm under various solar irradiation," *Sol. Energy*, vol. 148, pp. 128–139, 2017, doi: 10.1016/j.solener.2017.03.064.
- [7] Y. M. Safarudin, A. Priyadi, M. H. Purnomo, and M. Pujiantara, "Combining Simplified Firefly and modified P&O algorithm for Maximum Power Point Tracking of photovoltaic system under Partial Shading Condition," *2015 Int. Semin. Intell. Technol. Its Appl. ISITIA 2015 - Proceeding*, no. 1, pp. 181–186, 2015, doi: 10.1109/ISITIA.2015.7219976.
- [8] K. L. Lian, J. H. Jhang, and I. S. Tian, "A maximum power point tracking method based on perturb-and-observe combined with particle swarm optimization," *IEEE J. Photovoltaics*, vol. 4, no. 2, pp. 626–633, 2014.

- 2014, doi: 10.1109/JPHOTOV.2013.2297513.
- [9] M. A. Abdourraziq, M. Maaroufi, and M. Ouassaid, "A new variable step size INC MPPT method for PV systems," *Int. Conf. Multimed. Comput. Syst. -Proceedings*, no. I, pp. 1563–1568, 2014, doi: 10.1109/ICMCS.2014.6911212.
- [10] D. C. Bani, M. Pu, and H. Suryoatmojo, "MPPT Pada Sistem PV Menggunakan Algoritma Firefly dan Modified P&O dengan Konverter Hybrid Cuk terkoneksi ke Grid Satu Phasa di Bawah Kondisi Partial Shaded," *J. Tek. ITS*, vol. 5, no. 2, 2016, doi: 10.12962/j23373539.v5i2.16055.
- [11] X.-S. S. Yang and M. Karamanoglu, *Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms Second Edition*, vol. 4, no. C. 2013.
- [12] K. Sundareswaran, S. Peddapati, and S. Palani, "MPPT of PV systems under partial shaded conditions through a colony of flashing fireflies," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 29, no. 2, pp. 463–472, 2014, doi: 10.1109/TEC.2014.2298237.