Investigasi Model Dan Simulasi Mppt Pso Pada Sistem Fotovoltaik Di Indonesia

1st Muhammad Zaky Mubarok
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
zakymubarok@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Reza Fauzi Iskandar
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
rezafauzii@telkomuniversity.ac.id

3rd Tri Ayodha Ajiwiguna
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
triayodha@telkomuniversity.ac.id

***Abstrak* — Perlunya transisi dari bahan bakar fosil ke energi terbarukan. Sistem fotovoltaik salah satu alternatif energi yang cocok digunakan di Indonesia. Pada sistem fotovoltaik terdapat kendala yaitu efisiensinya dalam mengkonversi energi relatif rendah dan memiliki karakteristik tegangan dan arus (V-I) tidak linier dari suhu dan tingkat radiasi yang diperoleh sehingga membutuhkan kontrol MPPT untuk melacak daya maksimum dan sistem fotovoltaik bekerja pada titik daya maksimumnya. Pada kondisi Partial Shading Condition (PSC) atau kondisi berbayang terdapat banyak Maximum Power Point (MPP) sehingga titik kerja maksimum pada MPPT yang mewakili banyak MPP disebut Global Maximum Power Point (GMPP). Algoritma MPPT yang bisa digunakan untuk kondisi berbayang adalah algoritma PSO. Tiga tahapan optimasinya yaitu pembangkitan posisi dan kecepatan partikel, *update* kecepatan dan *update* posisi.**

***Kata kunci*— Fotovoltaik, MPPT, PSO**

I. PENDAHULUAN

Sumber energi listrik di Indonesia masih mengandalkan bahan bakar fosil. Bahan bakar fosil dapat habis berbanding terbalik dengan konsumsi energi listrik di Indonesia terus meningkat. Mengatasi mengurangnya ketersediaan sumber energi, transisi dari bahan bakar fosil ke energi terbarukan untuk mencukupi konsumsi energi listrik di Indonesia. Indonesia terletak di wilayah iklim tropis yang terpapar sinar matahari sepanjang tahunnya. Energi terbarukan sistem fotovoltaik salah satu alternatif yang cocok digunakan di Indonesia. Sistem fotovoltaik merupakan alat yang digunakan untuk mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik. Pada sistem fotovoltaik terdapat kendala yaitu efisiensinya dalam mengkonversi energi relatif rendah dan memiliki karakteristik tegangan dan arus (V-I) tidak linier dari suhu dan tingkat radiasi yang diperoleh sehingga membutuhkan kontrol MPPT untuk melacak daya maksimum dan sistem fotovoltaik bekerja pada titik daya maksimumnya. Daya keluaran dari fotovoltaik akan berubah jika terjadi kondisi perubahan radiasi dan suhu serta kondisi partial shading pada permukaan fotovoltaik. Kondisi partial shading terjadi apabila photovoltaic (PV) array menerima radiasi surya yang berbeda-beda yang disebabkan oleh sebagian PV array tersebut tertutupi oleh bayangan.

II. KAJIAN TEORI

Kajian teori berikut merupakan bagian atau hal yang perlu diperhatikan dalam sistem fotovoltaik yang diimplementasikan pada CD.

A. Sistem Fotovoltaik

Fotovoltaik adalah sistem yang dapat mengubah energi matahari menjadi energi listrik dengan arus searah (DC). Fotovoltaik terbuat dari bahan semikonduktor, sehingga ketika fotovoltaik terkena sinar matahari maka terdapat arus listrik. Proses terjadinya arus pada sistem fotovoltaik yaitu ketika elektron melompati band gap menuju ke pita konduksi dan menjadi elektron bebas. Adapun model dari sistem fotovoltaik yakni terdiri dari arus photocurrent, dioda, dan resistansi. Ketika radiasi meningkat maka nilai arus akan meningkat, tetapi tegangannya relatif konstan. Sedangkan ketika suhu meningkat nilai tegangan menurun. Hal ini disebabkan karena MPP bergantung kepada nilai radiasi dan suhu. pada praktiknya tidak ada sel surya yang ideal, maka dari itu diterapkan resistansi shunt dan resistansi seri. Berikut persamaan matematisnya pada sistem fotovoltaik:

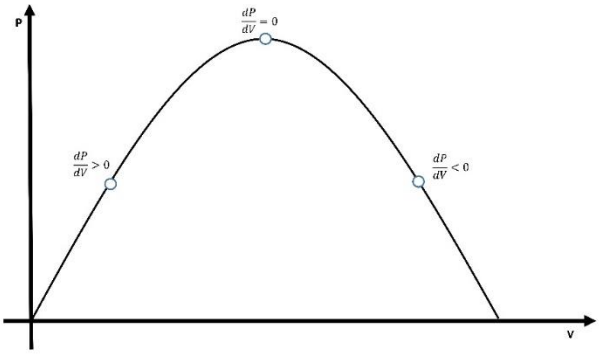
$$I = Iph - Io[\exp(\frac{q}{nkT}(V + IRs) - 1)] - \frac{V+IRs}{Rsh} \qquad (1)$$

B. *Maximum Power Point Tracking* (MPPT)

MPPT merupakan metode untuk mencari titik kerja maksimum serta memaksa nya bekerja pada titik tersebut untuk mengoptimalkan daya keluaran sistem. Pada MPPT algoritma yang bisa digunakan terdapat Fuzzy Logic, DE, P&O, PSO dan algoritma yang dikembangkan lainnya. Faktor iradiasi dan suhu mempengaruhi daya keluaran pada PV. Pada kondisi Partial Shading Condition (PSC) atau kondisi berbayang terdapat banyak Maximum Power Point (MPP) sehingga titik kerja maksimum pada MPPT yang mewakili banyak MPP disebut Global Maximum Power Point (GMPP).

$$V\ X\ I = \mathrm{P} \qquad (2)$$

Arus dan tegangan masukan fotovoltaik sistem diperlukan MPPT dalam proses mencari titik kerja maksimum sistem. Nilai daya didapatkan dari arus dan tegangan sesuai pada persamaan (2). Nilai MPP secara matematis merupakan diferensial atau turunan daya terhadap tegangan. Saat tegangan pada bagian kiri kurva, tegangan dinaikkan hingga mencapai tegangan MPP. Saat tegangan pada bagian kanan kurva, tegangan diturunkan hingga mencapai tegangan MPP. *Converter* yang menaikkan dan menurunkan tegangan dengan kontrol dari MPPT.



GAMBAR 2.1
Kurva karakteristik MPP

C. *Particle Swarm Optimization* (PSO)

PSO merupakan metode methaeuristik yang relevan memecahkan masalah pengoptimalan multi-objektif. PSO adalah algoritma optimisasi masalah dengan setiap partikel bergerak dengan kecepatan yang disesuaikan dari area pencarian dan menyimpan nilai posisi yang direpresentasikan sebagai solusi untuk optimasi. Pergerakan partikel ditentukan oleh nilai posisi dan nilai kecepatan. Algoritma PSO memiliki efisiensi yang lebih stabil dan osilasi yang rendah, tetapi membutuhkan waktu untuk tracking yang lebih lama. [1]

Pemilihan algoritma PSO dikarenakan metode konvensional Perturb and Observe (P&O) belum dapat melakukan tracking GMPP dengan stabil [2]. Pergerakan partikel ditentukan oleh nilai posisi dan nilai kecepatan. Algoritma memiliki beberapa tahap dalam proses optimasinya yaitu tahap pembangkitan posisi serta kecepatan partikel, *update velocity* (*update* kecepatan), *update position* (*update* posisi).

Pada algoritma PSO, kecepatan konvergensi partikel diperbarui menggunakan persamaan berikut:

$$v_i^{k+1} = wv_i^{k+1} + c_1 r_1 (P_{besti} - x_i^k) + c_2 r_2 (G_{besti} - x_i^k) \quad (3)$$

Dengan:

v_i^k: kecepatan *Duty Cycle* pada iterasi saat ini

w: berat inersia

c_1, c_2: koefisien percepatan

r_1, r_2: angka acak yang dibatasi antara 0 and 1.

P_{besti}: posisi terbaik partikel saat iterasi ke- i

G_{besti}: daya terbaik populasi saat iterasi ke-i

Untuk posisi yang merepresentasi *duty cycle* hingga kondisi terpenuhi GMPP diperbarui setiap iterasi dengan persamaan berikut:

$$x_i^{k+1} = x_i^k + v_i^{k+1} \quad (4)$$

Dengan:

x_i^k: *Duty Cycle* iterasi saat ini

Penggunaan algoritma PSO untuk mencari GMPP bekerja dengan membaca masukkan tegangan dan arus dari PV panel dan hasil proses dari algoritma PSO berupa duty cycle dikirimkan kembali ke *converter* untuk mengatur tegangan dan arus keluaran sistem. Sistem PV akan diberikan iradiasi yang berbeda sehingga mempunyai banyak MPP. Algoritma PSO melakukan komputasi untuk mencari GMPP dari sistem PV yang diberikan iradiasi yang berbeda.

GAMBAR 2.2
Flowchart Algoritma PSO

Alur flowchart algoritma PSO dimulai dengan menentukan posisi awal dan kecepatan partikel yang proses nya akan di evaluasi nilai fitness semua partikel serta melakukan cek pada nilai personal best yang merupakan posisi terbaik setiap partikel dan global best yang merupakan posisi terbaik populasi. Langkah berikutnya diperbarui posisi dan kecepatannya hingga menghasilkan kawanan partikel baru memenuhi kondisi yaitu D=Gbest, jika tidak terpenuhi maka akan melakukan perulangan untuk di evaluasi dan di perbarui kembali [3].

D. DC-DC *Converter*

Terdapat dua mode dalam pengoperasian DC-DC Converter, yaitu saat aliran arus induktor mengalir dan aliran arus induktor menjadi nol. DC-DC Converter memiliki peran yang penting dalam proses pelacakan MPP. Jenis DC-DC Converter yang digunakan adalah DC-DC Boost Converter. Jenis converter ini menaikkan tegangan masukan dari fotovoltaik, dengan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{Vo}{Vi} = \frac{1}{1-D} \quad (5)$$

Tegangan masukan berupa Vi dan tegangan keluaran berupa Vo serta D merupakan duty cycle pada fotovoltaik sistem.

TABEL 2.1
Parameter *Boost Converter*

Nama komponen	Nilai
Tegangan masuk	110 V
Tegangan keluar	300 V
Frekuensi *switching*	50 kHz
Minimum ripple voltage	<1%
Induktor	86.24 µ H

Kapasitor	12.6 µ F

Parameter yang ditunjukan pada tabel 2.1 menjadi acuan desain *boost converter*. Nilai kapasitansi kapasitor pada boost converter memiliki persamaan sebagai berikut:

$$C = \frac{D}{R\left(\frac{\Delta Vo}{Vo}\right)f} \quad (6)$$

Nilai induktivitansi induktor ditetapkan dengan persamaan matematis sebagai berikut:

$$L = \frac{D(1-D)^2 R}{2fs} \quad (7)$$

III. METODE

A. Langkah Pengujian

Pada Pengerjaan CD, pengujian menggunakan 7 pola iradiasi. Pada pola 1 dan 2 setiap modul PV memiliki iradiasi yang sama. Pada pola 3 hingga pola 7 setiap modul PV memiliki iradiasi berbeda. Berikut pola iradiasi yang digunakan pada tabel 3.1.

TABEL 3.1
Pola iradiasi pengujian GMPP

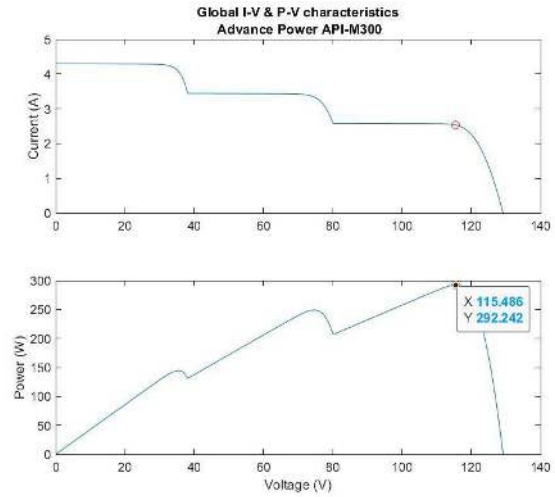
PV Array	Iradiasi Solar (W/m^2)						
	Pola 1	Pola 2	Pola 3	Pola 4	Pola 5	Pola 6	Pola 7
1	1000	500	500	400	400	400	300
2	1000	500	400	500	500	300	400
3	1000	500	300	200	300	500	500

Langkah pengujian pada CD sebagai berikut:

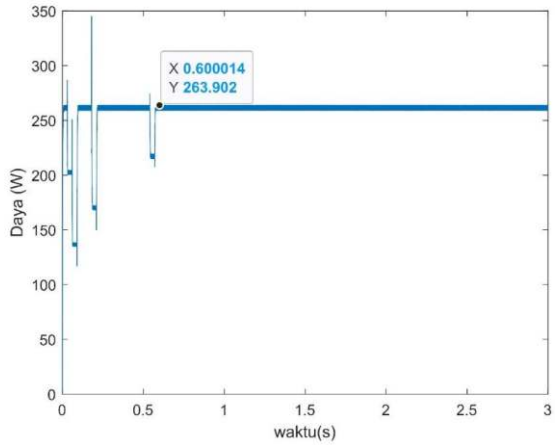
1. Penentuan masukan iradiasi dengan 7 pola, pada pola pertama iradiasi tanpa bayangan atau kondisi STC (*Standard Test Conditions*), pola kedua hingga keempat mempunyai iradiasi yang berbeda mengikuti data iradiasi salah satu daerah Indonesia di PJB-UP Paiton [4]. Pola kelima hingga ketujuh untuk pengujian nilai iradiasi pada pola ketiga dengan penempatan nilai setiap modul nya berbeda.
2. Pada pengujian masukan suhu tetap yaitu 25 ^{o}C.
3. Menentukan nilai MPP pada PV array dengan 7 pola pada tabel 3.1.
4. Menentukan waktu simulasi, yaitu 3 detik.
5. Mengukur dan menyimpan daya keluaran pengujian untuk di plot.
6. Melakukan analisis waktu penjajakan dan efisiensi dari daya keluaran.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

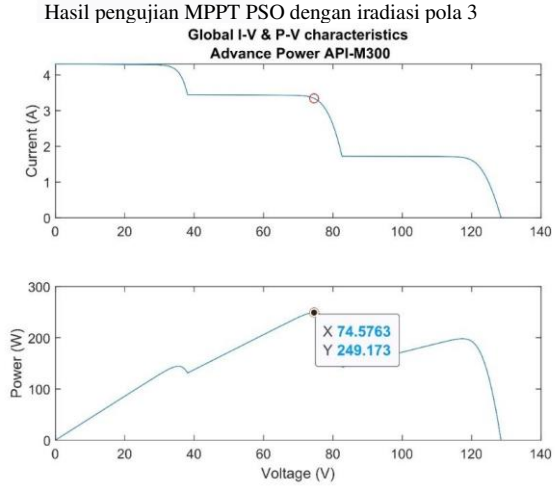
Parameter yang dinilai adalah ketepatan MPPT mencari GMPPT dari banyak LMPP, saat GMPPT tidak lebih besar atau sama dengan Pmax atau LMPP tertinggi. Gambar 2.3 dan gambar 2.5 menunjukkan karakteristik daya yang dihasilkan pada PV sistem dengan pola iradiasi yang ditentukan pada tabel 3.1. Gambar 2.4 dan gambar 2.6 adalah hasil pengujian daya keluaran pada PV sistem dengan MPPT PSO.



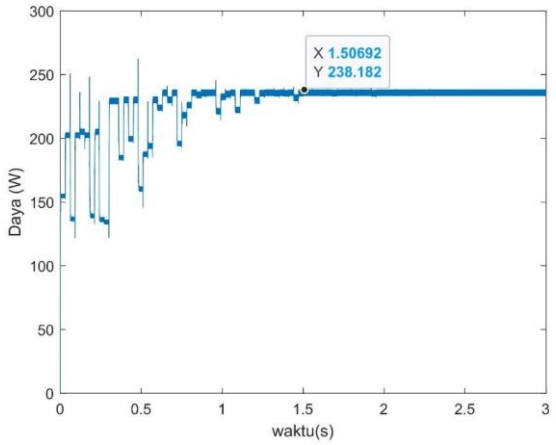
GAMBAR 2.3
Karakteristik daya pada iradiasi pola 3



GAMBAR 2.4
Hasil pengujian MPPT PSO dengan iradiasi pola 3



GAMBAR 2.5
Karakteristik daya pada iradiasi pola 4



GAMBAR 2.6
Hasil pengujian MPPT PSO dengan iradiasi pola 4

TABEL 3.2
Hasil Pengujian Daya MPPT PSO dan Pmax PV

Iradiasi	**Daya MPPT PSO**	**Pmax PV**
(W/m²)	**(W)**	**(W)**
Pola 1	863.898	897.857
Pola 2	432.600	450.462
Pola 3	263.902	292.242
Pola 4	238.182	249.173
Pola 5	263.902	292.242
Pola 6	263.798	292.242
Pola 7	263.798	292.242

Didapatkan nilai daya menggunakan MPPT PSO pada tabel 3.2 dengan Pmax PV dari karakteristik setiap pola berdasarkan pada tabel 3.1. Pada pola pertama atau keadaan STC, karakteristik daya keluaran PV mempunyai satu MPP. Pola 2 memiliki satu MPP pada karakteristiknya dengan iradiasi yang sama. Pola 3 dan 4 memiliki iradiasi yang berbeda setiap modul yang disebut partial shading condition atau keadaan sebagian berbayang. Pola 5, 6 dan 7 memiliki nilai iradiasi yang sebanding dengan pola 3, perbedaannya terdapat pada penempatan nilai setiap PV array nya. GMPP pada pola 5, 6 dan 7 memiliki nilai yang sebanding dengan pola 3. Pola 3 dan 4 karakteristiknya mempunyai banyak MPP. Hasil pengujian algoritma PSO pada MPPT berhasil melakukan penjajakan dan mendapatkan nilai GMPPT di bagian Daya MPPT PSO pada tabel 3.2.

TABEL 3.3
Hasil Akurasi Efisiensi dan Waktu Penjajakan MPPT PSO

Iradiasi (W/m²)	**Akurasi Penjajakan MPPT PSO (%)**	**Waktu Penjajakan MPPT PSO (s)**
Pola 1	96.21	1.71
Pola 2	96.03	1.45
Pola 3	90.30	0.60
Pola 4	95.58	1.50
Pola 5	90.30	0.26
Pola 6	90.26	0.33
Pola 7	90.26	0.29

Dari grafik pengujian setiap pola didapatkan waktu penjajakan. Pada pola Partial Shading Condition (PSC) efisiensi tertinggi berada pada 96.03% dengan waktu penjajakan 1.45 s. Dari tabel 3.3 Algoritma PSO yang diterapkan pada MPPT akurat dalam melacak GMPP dari 4 pola iradiasi akurasi penjajakan berada di atas 90% dengan waktu penjajakan tercepat 0.29 s. Waktu penjajakan pada nilai GMPP yang sebanding, terdapat perbedaan karena penempatan nilai iradiasi setiap PV array nya dan waktu penjajakan dengan penempatan nilai iradiasi setiap PV array nya berurutan yaitu pada pola 3 dan 7 memiliki waktu penjajakan yang lebih cepat.

V. KESIMPULAN

Dapat disimpulkan algoritma PSO berhasil dengan baik mencari titik nilai kerja maksimum dan mengontrol sistem untuk bekerja pada titik tersebut untuk mengoptimalkan daya keluaran sistem. Akurasi penjajakan algoritma PSO berada di atas 90%. Pada kondisi STC, fotovoltaik dapat memilikik MPP lebih dari satu. Waktu terlama penjajakan pada kondisi STC adalah 1.5 s. Pola 3 yang memiliki iradiasi sama dengan pola 5, 6, dan 7 dengan perbedaan pada penempatan iradiasi setiap PV modul nya, didapatkan nilai GMPP nya tetap sama perbedaan didapatkan dari waktu penjajakan setiap polanya.

REFERENSI

[1] M. D. Haq, "Perancangan Maximum Power Point Tracking (MPPT) Pada Panel Surya Dengan Kondisi Partial Shading Menggunakan Differential Evolution," *Suara Teknik Jurnal Ilmiah,* vol. 12, no. 1, pp. 38-46, 2019.

[2] G. P. M. Wirsuyana, "Metode Maximum Power Point Tracking pada Panel Surya: Sebuah Tinjauan Literatur," *Techné Jurnal Ilmiah Elektroteknika,* vol. 21, no. 2, pp. 211-224, 2022.

[3] I. Soesanti and R. Syahputra, "Analisis Kinerja Metode Fuzzy Teroptimasi PSO untuk Strategi Kendali MPPT pada Sistem Solar Photovoltaic," *Jurnal Teknik Elektro,* vol. 13, no. 2, pp. 98-108, 2021.

[4] I. A. Kurniawan, "ANALISA POTENSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) SEBAGAI PEMANFAATAN LAHAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU) PAITON," 11 July 2016. [Online]. Available: https://repository.its.ac.id/75189/1/2412100007-Undergraduate_Thesis.pdf. [Accessed 30 June 2023].