

Peningkatkan Unjuk Kerja Sistem MPPT Melalui Algoritma *Perturb and Observer* Yang Ditingkatkan Pada Sistem PLTS

Vandy Dwi Putra^{1*}, Asnil¹, dan Harwadi²

¹Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang
Jln. Prof. Dr. Hamka Air Tawar, Padang, Sumatera Barat, Indonesia

²Jurusan Rekayasa Mesin, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung
Kawasan Industri Airkantung, Sungailiat, Bangka, Indonesia

*e-mail: vandydp0701@gmail.com

(Diajukan: 03 Agustus 2024, direvisi: 18 November 2024, disetujui: 09 Januari 2025, dipublikasikan: 21 Januari 2025)

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja algoritma MPPT dengan metode P&O konvensional dan modifikasi pada sistem photovoltaic. Pengujian dilakukan dengan variasi iradiasi 200-600 W/m². Hasil menunjukkan metode P&O modifikasi mengurangi osilasi dan meningkatkan waktu pelacakan. Pada iradiasi 600 W/m², metode modifikasi mencapai MPP dalam 325 ms dengan daya 9.85 W, sedangkan konvensional memerlukan 345 ms dengan daya 8.775 W. Peningkatan iradiasi berbanding lurus dengan daya output dan berbanding terbalik dengan waktu pelacakan MPP. Penelitian ini membuktikan efektivitas metode P&O modifikasi dalam meningkatkan efisiensi dan stabilitas sistem MPPT pada aplikasi photovoltaic.

Kata Kunci: Photovoltaic, Maximum Power Point Tracking (MPPT), Perturb and Observe (P&O), iradiasi, efisiensi

Abstract

This study evaluates the performance of Maximum Power Point Tracking (MPPT) algorithms using conventional and modified Perturb and Observe (P&O) methods in photovoltaic systems. Tests were conducted across irradiance levels of 200-600 W/m². Results demonstrate that the modified P&O method significantly reduces oscillations and improves convergence speed compared to the conventional approach. At 600 W/m² irradiance, the modified method achieves MPP in 325 ms with 9.85 W power output, while the conventional method requires 345 ms, producing 8.775 W. Increased irradiance correlates positively with power output and negatively with MPP tracking time. This research validates the effectiveness of the modified P&O method in enhancing efficiency and stability of MPPT systems in photovoltaic applications.

Keywords: photovoltaic, MPPT, Perturb and Observe, , irradiance, efficiency

PENDAHULUAN

Pemakaian energi fosil sebagai bahan bakar pembangkit tenaga listrik di Indonesia terus meningkat, menyebabkan kelangkaan energi fosil serta dampak pencemaran lingkungan dan polusi udara yang signifikan [1]. Untuk mengurangi ketergantungan pada energi fosil, salah satu solusi yang dapat diambil adalah penggunaan energi alternatif seperti energi matahari [2]. Energi matahari dapat dikonversi menjadi energi listrik melalui panel surya, dimana daya yang dihasilkan bergantung pada intensitas radiasi dan suhu matahari yang diterima oleh panel tersebut [3]. Faktor-faktor ini menjadi kunci dalam memaksimalkan kapasitas energi matahari yang diterima untuk dikonversi menjadi energi listrik [4].

Untuk mencapai dan mempertahankan posisi titik daya maksimum (*Maximum Power Point*), digunakan metode *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) [5]. Terdapat berbagai jenis MPPT, termasuk MPPT konvensional, MPPT Intelligence, dan MPPT Hybrid, masing-masing dengan kelebihan dan kelemahannya. MPPT konvensional, misalnya, sering kali sulit beradaptasi terhadap perubahan lingkungan, sementara MPPT Intelligence membutuhkan sumber daya yang tinggi untuk menjalankan sistem yang kompleks, dan MPPT Hybrid memerlukan algoritma yang kompleks serta sirkuit yang lebih rumit [6].

Penelitian ini fokus pada pengembangan metode MPPT konvensional, salah satunya metode *Perturb and Observe* (P&O). Metode P&O bekerja dengan mendeteksi gangguan pada daya keluaran *photovoltaic* dan mengevaluasi daya keluaran tersebut dengan memperhitungkan perturbasi sebelumnya. Keunggulan metode ini adalah kemampuannya mengatur *duty cycle* secara mandiri untuk mencapai titik daya maksimum [5].

Selain melalui algoritma MPPT, optimalisasi *photovoltaic* juga dapat dilakukan melalui konverter DC-DC. Konverter ini tidak hanya membantu kinerja MPPT, tetapi juga mampu menaikkan atau menurunkan nilai tegangan sesuai kebutuhan [7]. Penelitian ini menggunakan *Boost converter*, yang dapat meningkatkan tegangan output panel surya. *Boost converter* ini dihubungkan dengan MPPT, sehingga tegangan MPPT dapat dikontrol menggunakan PWM (*Pulse Width Modulation*) [8].

Tujuan dari penelitian ini untuk menemukan dan menganalisis titik daya maksimum keluaran panel surya yang dihubungkan dengan rangkaian daya *Boost converter* menggunakan algoritma *Perturb and Observe*. Keluaran dari panel surya akan dibandingkan kinerjanya dengan algoritma *Perturb and Observe* baik secara konvensional maupun modifikasi, guna memperoleh hasil yang optimal.

Photovoltaic (PV)

Photovoltaic berfungsi untuk menyerap energi matahari dan dikonversi menjadi energi listrik kemudian disalurkan ke beban [7]. *Photovoltaic* (PV) terdiri dari sambungan semikonduktor tipe p dan tipe n. Sambungan ini dibuat dalam lapisan tipis yang memungkinkan untuk mengonversi menjadi energi listrik [9]. Persamaan matematis rangkaian ekuivalen sel surya dapat dilihat pada persamaan (1) [9].

$$I_m = I_{ph} - I_r \left[\exp \left(\frac{q(V_m + R_s I_m)}{N_s K T a} \right) - 1 \right] - \frac{V_m + R_s I_m}{R_{sh}} \quad (1)$$

Dengan :

I_m = Arus keluaran sel surya

I_{ph} = Arus yang dihasilkan oleh efek fotoelektrik

I_r = Arus saturasi balik dioda

q = Muatan elektron (1.6×10^{-19} *Coulomb*)

V_m = Tegangan keluaran sel surya

R_s = Resistansi seri sel surya

N_s = Faktor idealitas dioda

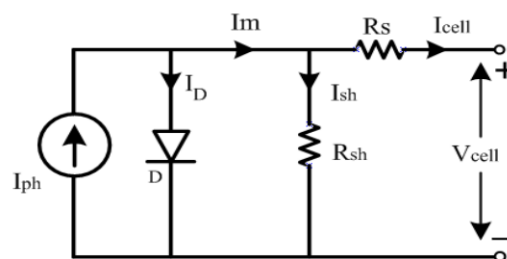
k = Konstanta Boltzmann (1.38×10^{-23} J/K)

T = Suhu sel surya dalam Kelvin

a = Konstanta kurva fitting (biasanya bernilai 1)

R_{sh} = Resistansi shunt sel surya

Gambar 1 dapat dilihat rangkaian ekivalen surya.



Gambar 1 Rangkaian Ekivalen Sel Surya [9].

Photovoltaic (PV) dapat menghasilkan keluaran yang stabil pada titik maksimumnya sehingga efisiensi yang dihasilkan lebih tinggi. Oleh karena itu, PV harus dikendalikan agar dapat mencapai titik maksimumnya [10]. Sehingga dibutuhkan peran MPPT dalam melacak keberadaan titik maksimum yang dihasilkan oleh PV serta menjaga panel surya tetap selalu berada pada titik maksimumnya [5].

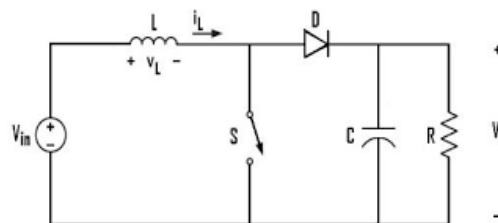
Maximum Power Point Tracking (MPPT)

Sistem PV memiliki daya maksimum yang disebut *Maximum Power Point* (MPP) yang bervariasi bergantung pada suhu dan intensitas radiasi matahari. MPPT digunakan untuk mendapatkan daya maksimum dari sistem *photovoltaic* dan menjaga agar titik kerja *photovoltaic* tetap berada pada titik MPP [5]. Kontrol MPPT mengatur tegangan menggunakan PWM (Modulasi Lebar Pulsa) yang dihubungkan melalui rangkaian DC-DC Converter. Meskipun lokasi titik daya maksimum tidak tahu secara pasti, maka titik MPP tetap dapat dilacak melalui algoritma *tracking* [11]. Berdasarkan jenis MPPT konvensional maka digunakan metode *Perturb and Observe* yang merupakan salah satu jenis metode MPPT konvensional.

Algoritma *Perturb and Observe* merupakan algoritma yang mengatur daya keluaran panel surya melalui pengaturan *duty cycle* [12]. Nilai *duty cycle* diubah menjadi sinyal PWM oleh output arduino kemudian disalurkan ke converter untuk menyesuaikan tegangan [4]. Prinsip P&O yaitu pertama memodifikasi nilai tegangan referensi (V_{ref}) melalui *duty cycle* dan kedua melakukan pengamatan terhadap perubahan daya keluaran PV [13].

Boost converter

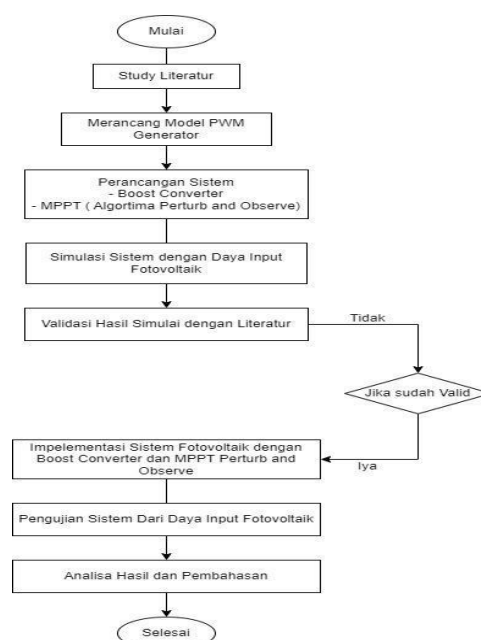
Boost converter atau yang biasa disebut dengan *Step Up Converter* merupakan konverter catu daya yang dapat menaikkan tegangan output lebih besar daripada tegangan input [14]. Komponen yang digunakan dalam topologi catu daya ini diantaranya Mosfet, Induktor, Dioda, Kapasitor, dan Resistor. Pada saat saklar dalam kondisi ON, arus akan mengalir dari sumber menuju induktor sehingga tegangan induktor akan sama dengan tegangan masukan [15]. Saat saklar posisi OFF arus yang tersimpan pada induktor akan dialirkan menuju beban melalui dioda sehingga tegangan keluaran *boost* lebih besar daripada tegangan masukannya[16]. Pada Gambar 2 di bawah dapat di lihat topologi *boost converter*.



Gambar 2. Topologi *Boost converter* [17]

METODE

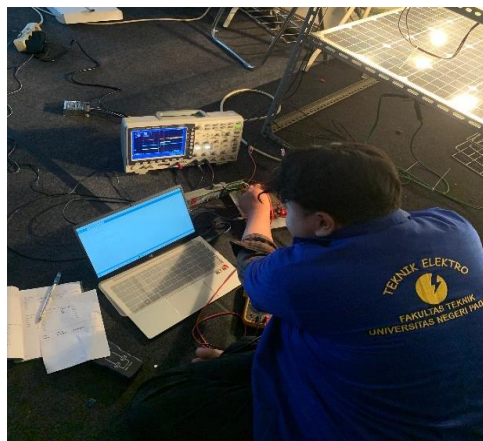
Adapun metode penelitian yang digunakan yakni jenis *Research and Development*. Penelitian ini melalui tahap perancangan, pembuatan *hardware*, pengujian serta menganalisis rangkaian *hardware*. Tahap perancangan desain sistem dilakukan menggunakan perangkat lunak Simulink Matlab, hal ini bertujuan untuk mengetahui gambaran output *boost converter* menggunakan algoritma *Perturb and Observe*. Adapun setelah perancangan simulasi menggunakan perangkat lunak, maka dapat dilakukan perancangan desain sistem. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 3 diagram alir penelitian sisem MPPT.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian Sistem MPPT

Berdasarkan diagram alir penelitian tahap pertama yang dilakukan yakni study literatur untuk mendapatkan informasi-informasi mengenai penelitian. Selanjutnya merancang model PWM generator pada Simulink Matlab. Setelah perancangan sesuai, dilanjutkan dengan perancangan sistem *boost converter* dan sistem MPPT dengan algoritma *Perturb and Observe*. Jika perancangan sesuai maka simulasikan sistem dengan photovoltaic, apabila hasil pengujian simulasi valid dengan literatur maka lanjutkan dengan implementasi algoritma *Perturb and Observe*. Pengujian dilakukan dari daya input photovoltaic guna memperoleh kestabilan titik MPP, analisa hasil pengujian dan lakukan pembahasan terhadap penelitian.

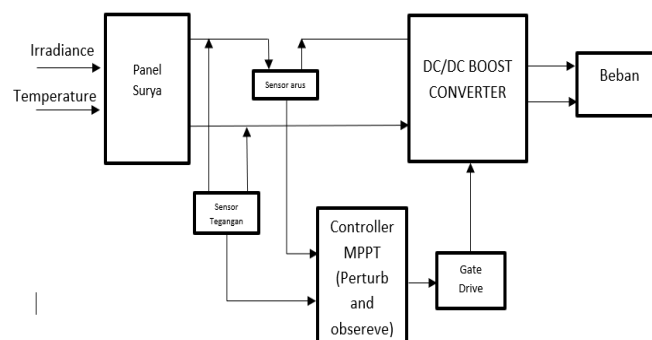
Data penelitian mencakup data simulasi dan data sistem *hardware* secara langsung. Data simulasi diperoleh berdasarkan hasil simulasi melalui perangkat lunak Simulink Matlab. Sedangkan data perangkat *hardware* diperoleh melalui sistem paralel *photovoltaic* 100 W, *solar power energy meter*, tang *ampere*, *osiloskop*, *voltmeter* digital guna memantau tegangan yang dihasilkan oleh output photovoltaic. Berikut proses pengujian *hardware* yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4 Proses Pengujian *Hardware*

Blok Diagram

Panel surya menerima suhu dan iradiasi matahari yang dikonversi menjadi energi listrik. Output PV menghasilkan tegangan dan arus yang tidak stabil akibat pengaruh iradiasi dan suhu yang berubah-ubah. Arus dan tegangan ini dikendalikan oleh mikrokontroler arduino menggunakan metode P&O untuk mengatur *duty cycle* pada *boost converter*. Gambar 5 merupakan diagram blok dari sistem MPPT.



Gambar 5. Blok Diagram Sistem MPPT

Perancangan *Boost converter*

Hubungan antara V_{in} , V_{out} , dan D dapat ditunjukkan pada persamaan (2), (3), (4) [16].

$$D = \frac{V_{in}}{V_{out}} \quad (2)$$

Nilai kapasitansi pada *boost converter* perlu dirancang sehingga membantu mengurangi riak tegangan pada output yang dinyatakan pada persamaan berikut

$$L = \frac{V_{in} \times D}{\Delta I L \times F} \quad (3)$$

Nilai induktor pada *boost converter* perlu dirancang sehingga membantu dalam membatasi riak arus input yang dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$C = \frac{I_{in} \times D}{\Delta V O \times F} \quad (4)$$

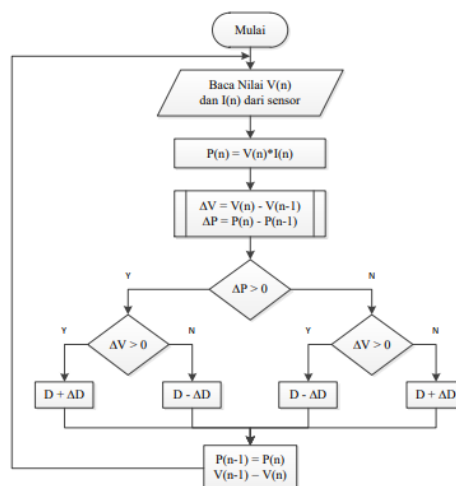
Berdasarkan persamaan diatas maka dapat diperoleh nilai parameter yang dapat digunakan untuk perancangan *boost converter* seperti pada Tabel 1.

Tabel 1 Nilai parameter perancangan *boost converter*

Parameter	Simbol	Nilai
Tegangan masukan	V_{in}	18 V
Tegangan keluaran	V_{out}	38 V
Resistor	R	50 ohm
Frekuensi switching	f	62500 Hz
Duty cycle	D	0.47
Ripple arus	ΔI	1 %
Ripple tegangan	ΔV	1 %
Nilai induktor	L	2.2 mH
Nilai kapasitor	C	μF

Perancangan Sistem Algoritma *Perturb and Observe*

Prinsip kerja P&O adalah dengan menaikkan atau menurunkan tegangan output PV dan membandingkan daya siklus sebelumnya dengan daya siklus saat ini (Gambar 6). Nilai tegangan akan berubah seiring peningkatan daya [5]. MPPT akan terus melacak posisi titik daya maksimum. Jika tidak, titik operasi akan berubah ke arah yang berlawanan [8].



Gambar 6 Flowchart Algoritma P&O Konvensional [18].

Proses ini akan menghasilkan osilasi disekitar MPP, sehingga proses ini akan kehilangan efisiensi. Selain itu, Algoritma P&O konvensional ini membutuhkan waktu yang lama dalam mencapai titik maksimum (MPP). Sehingga dalam mengatasi permasalahan osilasi di sekitar titik MPP dan kecepatan mencapai titik MPP diperlukan modifikasi pada algoritma P&O, agar sistem dapat menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi dan stabil [17].

Algoritma *Perturb and Observe* memiliki beberapa parameter, termasuk nilai awal yang diinisialisasi dan ukuran perubahan nilai langkah yang terjadi selama setiap iterasi. Untuk menjaga kemampuan konverter *boost*, batasan *duty cycle* juga diperlukan untuk menjalankan algoritma ini. Waktu tunda untuk menjalankan program dalam satu kali iterasi ditetapkan untuk memberikan respon balik jika nilai *duty cycle* berubah. Tabel 2 menunjukkan parameter yang digunakan pada algoritma *Perturb and Observe*.

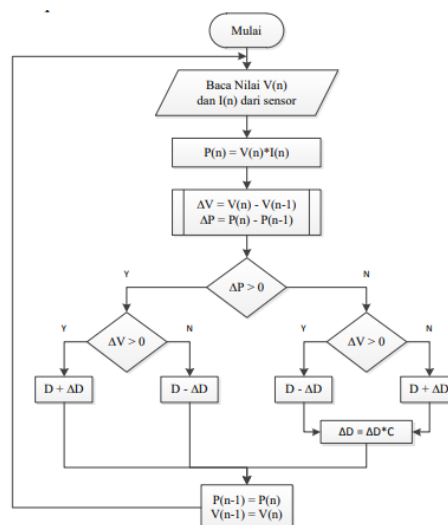
Tabel 2. Parameter algoritma *Perturb and Observe*

Parameter Algoritma <i>Perturb and Observe</i>	
<i>Duty cycle</i>	0.1 – 0.8
Step size	0.01
Delay	

Modifikasi *Perturb and Observe*

Untuk mengatasi kekurangan P&O konvensional, dilakukan modifikasi dengan mengubah besar nilai ΔD yang digunakan. Setelah menemukan titik maksimum daya, besaran ΔD akan dikalikan dengan konstanta bernilai antara 0-1, sehingga besaran ΔD akan semakin kecil.

Algoritma *Perturb and Observe* yang dimodifikasi pada Gambar 7 menerapkan nilai *step size* yang dapat disesuaikan. Parameter utama algoritma ini mencakup inisialisasi awal dan besaran perubahan *step size* setiap iterasi. Nilai *step size* berubah secara dinamis mengikuti respons sistem. Sebuah konstanta C digunakan untuk mengatur besarnya perubahan *step size* (ΔD) per iterasi, memungkinkan sistem beradaptasi terhadap variasi kondisi lingkungan [7].



Gambar 7 Flowchart Algoritma P&O Modifikasi [18]

Algoritma ini juga menerapkan batasan pada *duty cycle* untuk mempertahankan efektivitas konverter *boost*. Selain itu, ditetapkan waktu tunda antar iterasi untuk

memungkinkan sistem merespons perubahan *duty cycle*. Tabel 3 menyajikan rincian parameter yang digunakan dalam versi modifikasi algoritma *Perturb and Observe* ini.

Tabel 3 Parameter Algoritma Modifikasi *Perturb and Observe*

Parameter Algoritma Modifikasi <i>Perturb and Observe</i>	
<i>Duty cycle</i>	0.1 – 0.8
Delta D	0.02
Konstanta	0.99
Delay	100 ms

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada pembahasan ini akan ditampilkan hasil pengujian simulasi menggunakan Simulink Matlab. Tidak hanya itu juga ditampilkan hasil pengujian perangkat *hardware* secara langsung.

Pengujian *Boost converter* dengan PWM

Pengujian PWM pada *boost converter* dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh variasi siklus kerja terhadap tegangan keluaran. Sinyal PWM dengan frekuensi tetap 62500 Hz dan siklus kerja bervariasi dari 5% hingga 80%. Tegangan masukan diatur konstan pada 18V. hasil pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Pengujian *Boost converter* dengan PWM

<i>Duty cycle</i>	Tegangan Input	Tegangan Output
5	18 v	18.93 v
10	18 v	19.85 v
15	18 v	20.94 v
20	18 v	22.30 v
25	18 v	23.65 v
30	18 v	25.19 v
35	18 v	27,23 v
40	18 v	29,43 v
45	18 v	32 v
50	18 v	35,06 v
55	18 v	38.40 v
60	18 v	42,64 v
65	18 v	47,35 v
70	18 v	53,65 v
75	18 v	61,12 v
80	18 v	63,45 v

Pengujian *Boost converter* Tanpa Algoritma MPPT

Pengujian *boost converter* ini dilakukan tanpa menggunakan Algoritma dengan *duty cycle* tetap sebesar 20%, beban 50 ohm, *irradiance* berubah-ubah dari 200 W/m², 400 W/m², 600 W/m², dan *irradiance* diturunkan ke 400 W/m², 200 W/m². pengujian ini meliputi pengukuran tegangan dan arus output panel surya. hasil pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Pengujian *Boost converter* Tanpa Algoritma MPPT

Duty cycle	Irradiance	Output PV (V)	Output Pv (I)	Daya (W)
20%	200 W/m ²	8.2 V	0.27	2.214
	400 W/m ²	14.22 V	0.4	5.68
	600 W/m ²	19.37 V	0.51	10.26
	400 W/m ² m ²		

Pengujian *Boost converter* menggunakan Algoritma MPPT

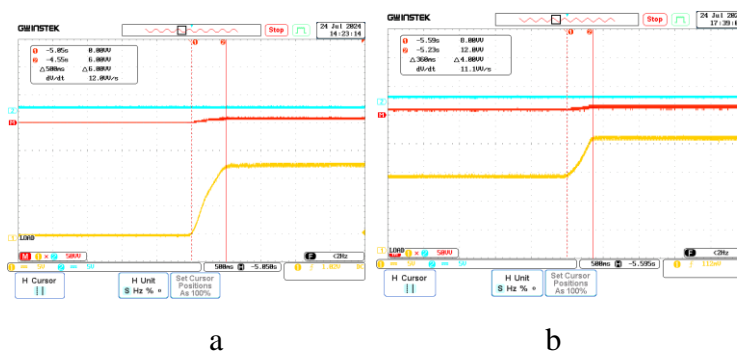
Penelitian ini mengevaluasi kinerja Algoritma MPPT dengan metode P&O konvensional dan modifikasi. Eksperimen dilakukan dengan memvariasikan tingkat iradiasi pada rentang 200 W/m², 400 W/m², dan 600 W/m², serta penurunan bertahap dari 600 W/m² ke 400 W/m² dan 200 W/m². Beban resistif sebesar 50 ohm digunakan dalam pengujian. **Gambar 8** merupakan hasil pengujian gelombang Input P&O Konvensional.

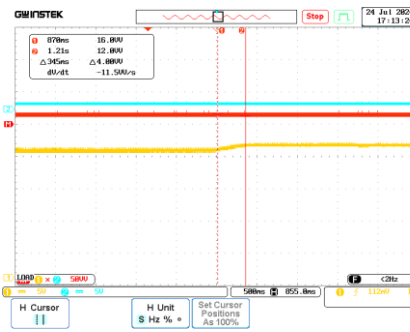


Gambar 8 Hasil Pengujian Gelombang Input P&O Konvensional

Gambar 9 menampilkan hasil komparasi pengukuran gelombang dari implementasi metode P&O konvensional. Analisis terhadap gelombang keluaran mengungkapkan adanya osilasi yang signifikan di sekitar titik MPP, serta durasi pelacakan dan pencapaian MPP yang belum optimal. Karakteristik ini mengindikasikan bahwa metode P&O konvensional masih memiliki potensi peningkatan, terutama dalam hal stabilitas dan kecepatan konvergensi terhadap MPP.

Dari **Gambar 9**, pada kondisi iradiasi rendah (0-200 W/m²), sistem membutuhkan waktu 500 ms untuk mencapai MPP, dengan daya maksimum 2,95 W. Pada iradiasi menengah (200-400 W/m²), sistem membutuhkan waktu 360 ms, dengan daya maksimum 7,03 W. Pada iradiasi tinggi (400-600 W/m²), sistem mencapai MPP dalam 345 ms, dengan daya maksimum 8,775 W.

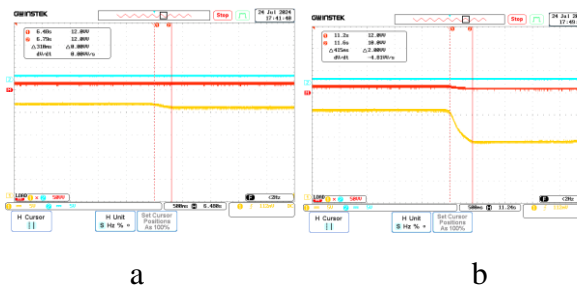




c

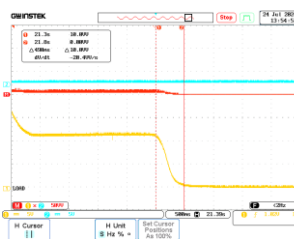
Gambar 9. a. Irradiasi 0 -200 W/m², b. irradiasi 200 – 400 W/m² c. Irradiasi 400 – 600 W/m²

Lalu pada Gambar 10 iradiasi 600-400 W/m², sistem mencapai MPP dalam 310 ms, dengan daya maksimum 7,03 W. Ketika iradiasi menurun 400-200 W/m², waktu pelacakan meningkat menjadi 415 ms, dengan daya maksimum 2,95 W. Berdasarkan hasil pengujian sistem MPPT menggunakan algoritma *Perturb and Observe* konvensional, didapatkan bahwa masih adanya osilasi yang dihasilkan dalam mencapai titik MPP serta kecepatan pelacakan yang masih lambat dalam mencapai titik MPP. Sehingga hal ini akan mempengaruhi kinerja panel surya, maka dari itu algoritma *Perturb and Observe* dapat dimodifikasi sehingga kinerja panel surya dapat meningkat.



a

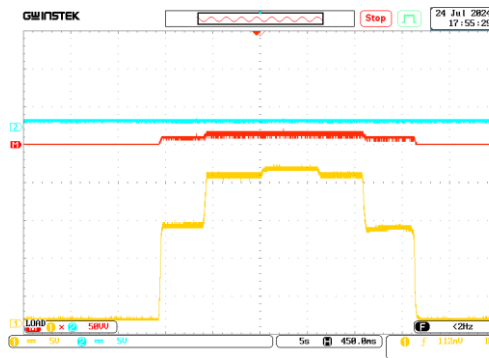
b



c

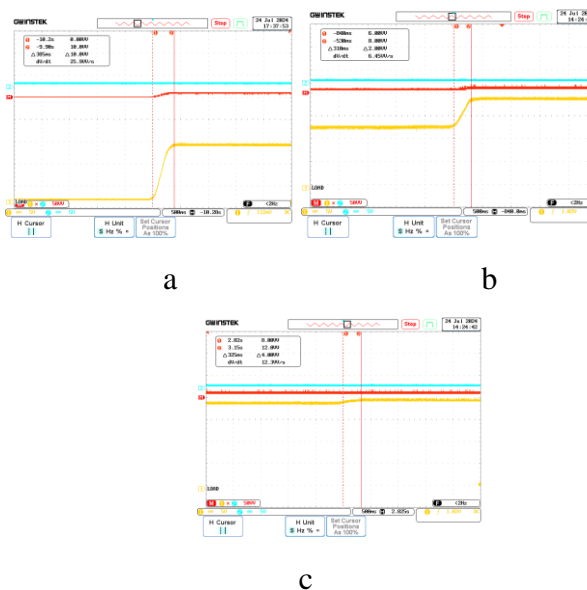
Gambar 10 a. Irradiasi 600 – 400 W/m², b. irradiasi 400 – 200 W/m² c. Irradiasi 200 – 0 W/m²

. Gambar 11 menampilkan hasil pengujian gelombang input sistem MPPT algoritma P&O yang telah di modifikasi.



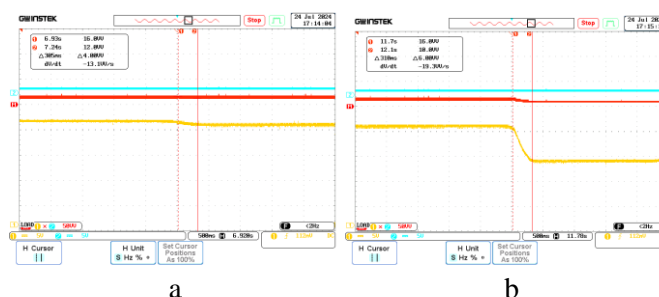
Gambar 11 Hasil Pengujian Gelombang Input P&O Modifikasi

Gambar 12 menunjukkan hasil pengukuran gelombang dari implementasi metode P&O modifikasi. Analisis terhadap gelombang keluaran menunjukkan adanya pengurangan osilasi yang signifikan di sekitar titik MPP. Pada iradiasi 0-200 W/m², sistem memerlukan waktu 385 ms untuk mencapai MPP, dengan daya maksimum 3,294 W. Pada iradiasi 200-400 W/m², waktu pelacakan berkurang menjadi 310 ms, dengan daya maksimum 7,52 W. Pada iradiasi 400-600 W/m², sistem mencapai MPP dalam 325 ms, dengan daya maksimum 9,85 W.



Gambar 12 a. irradiasi 0 -200 W/m², b. irradiasi 200 – 400 W/m² c. Irradiasi 400 – 600 W/m²

Dari Gambar 13, pada iradiasi 600-400 W/m², sistem memerlukan waktu 305 ms untuk mencapai MPP, dengan daya maksimum 7,708 W. Pada iradiasi 400-200 W/m², waktu pelacakan sedikit meningkat menjadi 310 ms, dengan daya maksimum 3,172 W.



Gambar 13 a. Irradiasi 600 – 400 W/m², b. Irradiasi 400-200 W/m²

Dari hasil pengujian sistem MPPT algoritma *Perturb and Observe* telah terbukti dapat meningkatkan kinerja panel surya. Hal ini dapat terlihat dari kecepatan pelacakan yang lebih cepat dalam mencapai titik MPP dibandingkan algoritma P&O konvensional, tidak hanya itu pada iradiasi tertinggi osilasi yang dihasilkan dalam mencapai titik MPP lebih stabil.

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini mengkaji efektivitas algoritma *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) menggunakan metode *Perturb and Observe* (P&O) dan variasi modifikasinya pada sistem *photovoltaic* yang terhubung dengan konverter *Boost*. Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa algoritma P&O mampu mencapai titik daya maksimum (MPP) dengan baik pada kondisi radiasi matahari yang stabil, namun menunjukkan kinerja yang kurang optimal pada kondisi perubahan radiasi yang cepat. Modifikasi algoritma P&O dengan pengaturan nilai *step size* menggunakan konstanta C terbukti meningkatkan kemampuan algoritma dalam menyesuaikan perubahan kondisi lingkungan, sehingga lebih efisien dalam mempertahankan MPP. Penggunaan konverter *Boost* efektif untuk menaikkan tegangan keluaran dari panel surya, yang pada akhirnya meningkatkan efisiensi keseluruhan sistem. Selain itu, nilai *duty cycle* yang diatur melalui PWM (*Pulse Width Modulation*) dalam konverter *Boost* memberikan kontrol yang lebih presisi terhadap tegangan keluaran, sehingga meningkatkan stabilitas sistem [19].

Untuk penelitian lebih lanjut, beberapa saran yang dapat dipertimbangkan adalah menerapkan algoritma MPPT lain seperti *Fuzzy Logic* atau *Neural Network* untuk dibandingkan dengan algoritma P&O dalam berbagai kondisi lingkungan, melakukan pengujian di berbagai kondisi cuaca dan intensitas radiasi matahari untuk memvalidasi kinerja algoritma P&O yang dimodifikasi dalam situasi yang lebih beragam, dan mengintegrasikan sistem monitoring dan kontrol *real-time* untuk meningkatkan responsivitas dan adaptabilitas algoritma MPPT terhadap perubahan lingkungan yang dinamis [20]. Selain itu, mengembangkan dan menguji prototipe sistem *photovoltaic* yang lebih besar untuk mengukur skala efisiensi dan kehandalan sistem dalam aplikasi dunia nyata, serta mengkaji dampak dari nilai konstanta C yang digunakan dalam modifikasi algoritma terhadap kinerja keseluruhan sistem, serta mencari nilai optimal untuk aplikasi tertentu, juga penting untuk dilakukan. Penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam upaya meningkatkan efisiensi dan stabilitas sistem *photovoltaic* melalui optimasi algoritma MPPT, khususnya metode P&O yang dimodifikasi.

REFERENSI

- [1] M. Ervin and Jamaaluddin, "Pemanfaatan Solar Cell Sebagai Alternatif Energi Listrik Skala Rumah Tangga," *Mesin Mesin List.*, 2020, [Online]. Available: <http://eprints.umsida.ac.id/7230/>.
- [2] T. Sulis, F. Fathoni, and R. Putri, "Optimasi Sistem Photovoltaik Menggunakan Cuk Konverter Berbasis Simple *Perturb and Observe* Method," *J. Appl. Smart Electr. Netw. Syst.*, vol. 2, no. 01, pp. 24–29, 2021, doi: 10.52158/jasens.v2i01.190.
- [3] A. Huda, "Peningkatan Efisiensi Panel Suryamenggunakan Teknologi Maximum Power Point Tracking (Mppt) Berbasis Increment Conductance Menggunakan *Boost*

- converter,” *Media Elektr.*, vol. 15, no. 2, p. 137, 2022, doi: 10.26714/me.v15i2.11001.
- [4] M. A. Mazta, A. S. Samosir, and A. Haris, “Rancang Bangun Interleaved *Boost converter* Berbasis Arduino,” *J. Rekayasa dan Teknol. Elektro*, vol. 10, no. 1, pp. 22–29, 2016.
- [5] J. A. Hamonangan, “Review Perbandingan Teknik Maximum Power Point Tracker (MPPT) untuk Sistem Pengisian Daya menggunakan Sel Surya,” *J. Teknol. Dirgant.*, vol. 16, no. 2, p. 111, 2019, doi: 10.30536/j.tjd.2018.v16.a2998.
- [6] M. P. M. H. P. Dwiyan Anugrah Ernadi, “Desain Maximum Power Point Tracking untuk Turbin Angin Menggunakan Modified Perturb &,” *Jur. Tek. Elektro, Fak. Teknol. Ind. Inst. Teknol. Sepuluh Nop.*, vol. 5, no. 2, 2016.
- [7] S. Daraban, D. Petreus, and C. Morel, “A novel MPPT (maximum power point tracking) algorithm based on a modified genetic algorithm specialized on tracking the global maximum power point in photovoltaic systems affected by partial shading,” *Energy*, vol. 74, no. C, pp. 374–388, 2014, doi: 10.1016/j.energy.2014.07.001.
- [8] B. P. Roesyadi, A. Parastiwi, and H. Herwandi, “Optimasi Solar Charge Control Dengan Daya 100wp Menggunakan Maximum Power Point Tracking (MPPT),” *J. Elektron. dan Otomasi Ind.*, vol. 8, no. 1, p. 74, 2021, doi: 10.33795/elk.v8i1.230.
- [9] Asnil, Krismadinata, I. Husnaini, and E. Astrid, “Characteristics of photovoltaic modules in various configurations for partial shading conditions,” *J. Theor. Appl. Inf. Technol.*, vol. 99, no. 22, pp. 5287–5299, 2021.
- [10] E. A. Hakim, T. Al Ghufuran, M. Effendy, and N. Setyawan, “MPPT Menggunakan Algoritme Particle Swarm Optimization dan Artificial Bee Colony,” *J. Nas. Tek. Elektro dan Teknol. Inf.*, vol. 9, no. 2, pp. 218–224, 2020, doi: 10.22146/jnteti.v9i2.81.
- [11] M. R. Al Haqq, I. Chlissodin, and A. A. Soebroto, “Maximum Power Point Tracking (MPPT) pada Panel Surya dalam Kondisi Berbayang Sebagian dengan Particle Swarm Optimization (PSO),” *Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 5, no. 8, pp. 3524–3537, 2021, [Online]. Available: <http://j-ptiik.ub.ac.id>.
- [12] S. Suriadi, I. N. Fajri, R. Munadi, and M. Gapy, “Reduksi Osilasi Daya Pada MPPT Panel Surya Dengan Metode Kombinasi PNO dan Fuzzy,” *J. Rekayasa Elektr.*, vol. 15, no. 2, 2019, doi: 10.17529/jre.v15i2.13682.
- [13] J. Julianto and A. Rajagukguk, “Rancang Bangun Buck-Boost converter Berbasis Arduino Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya 8x10 Wp,” *J. FTEKNIK*, vol. 7, pp. 1–11, 2020.
- [14] A. Lubis, H. Hasan, and I. D. Sara, “Desain Maximum Power Point Tracking (MPPT) pada Sistem Fotovoltaik Menggunakan Algoritma Incremental Conductance,” *KITEKTRO J. Komputer, Inf. Teknol. dan Elektro*, vol. 7, no. 1, pp. 1–8, 2022.
- [15] S. Badri and K. Krismadinata, “Design of *Boost converter* Integrated with Graphical User Interface,” *Motiv. J. Mech. Electr. Ind. Eng.*, vol. 2, no. 1, pp. 31–42, 2020, doi: 10.46574/motivaction.v2i1.40.
- [16] S. H. Istonirsya, “Desain Buckboost converter Dengan Mppt P&O Untuk Mendapatkan Daya Optimal Akibat Perubahan Arus Dan Tegangan,” *JTT (Jurnal Teknol. Terpadu)*, vol. 11, no. 2, pp. 231–240, 2023, doi: 10.32487/jtt.v11i2.1780.
- [17] J. Mishra, S. Das, D. Kumar, and M. Pattnaik, “Performance Comparison of PO and INC MPPT Algorithm for a Stand-alone PV System,” *2019 Innov. Power Adv. Comput. Technol. i-PACT 2019*, no. 1, pp. 1–5, 2019, doi: 10.1109/i-PACT44901.2019.8960005.

- [18]A. Fauzi, M. Facta, and S. Sudjadi, “Perencanaan Maximum Power Point Tracking (Mppt) Dengan Metode *Perturb and Observe* Pada Panel Surya,” *Transient*, vol. 7, no. 4, p. 918, 2019, doi: 10.14710/transient.7.4.918-924.
- [19]Gede Patrianaya Margayasa Wirsumana, Rukmi Sari Hartati, and Ida Bagus Gede Manuaba, “Metode Maximum Power Point Tracking pada Panel Surya : Sebuah Tinjauan Literatur,” *Techné J. Ilm. Elektrotek.*, vol. 21, no. 2, pp. 211–224, 2022, doi: 10.31358/techne.v21i2.321.
- [20]B. Subudhi and R. Pradhan, “A Comparative Study on Maximum Power Point Tracking Techniques for Photovoltaic Power Systems,” *IEEE Trans. Sustain. ENERGY*, vol. 4, no. 1, pp. 89–98, 2013, doi: 10.1109/TSTE.2012.2202294.