

RANCANGAN SISTEM MPPT BERBASIS ALGORITMA MODIFIED P&O DENGAN ARDUINO MENGGUNAKAN KONVERTER DC-DC PADA PHOTOVOLTAIC

Arif Kesuma Dhani¹, Efendi S Wirateruna², Fawaidul Badri³

^{1,2,3}Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Islam Malang, Mayjen Haryono Street No.193, Malang, Indonesia

21801053004@unisma.ac.id¹, efendi.s.wirateruna@unisma.ac.id²,
fawaidulbadri@unisma.ac.id³

Abstract

This research aims to design a Maximum Power Point Tracking (MPPT) system based on the Modified Perturb and Observe (P&O) algorithm using Arduino and Buck-Boost type DC-DC converter on photovoltaic modules. MPPT is an important technique in optimizing the output power of solar panels to ensure maximum efficiency in various solar radiation conditions. The Modified P&O algorithm was introduced to overcome the drawbacks of conventional P&O algorithms, such as oscillations around the maximum power point and deviation due to irradiated changes. The test results show that the Modified P&O algorithm has succeeded in increasing the efficiency of the system with a maximum power of 9.15 W compared to the conventional P&O algorithm of 8.5 W. In addition, the Modified P&O algorithm is able to reduce oscillations and provide better stability at the maximum power point despite variations in radiation intensity. This research contributes to the development of an MPPT system based on Arduino technology for renewable energy applications, especially solar power plants.

Keywords— MPPT, Modified P&O, Arduino, Buck-Boost Converter, photovoltaic

Abstraksi

Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem Maximum Power Point Tracking (MPPT) berbasis algoritma Modified Perturb and Observe (P&O) menggunakan Arduino dan konverter DC-DC tipe Buck-Boost pada modul fotovoltaik. MPPT merupakan teknik penting dalam optimasi daya keluaran panel surya untuk memastikan efisiensi maksimal pada berbagai kondisi radiasi matahari. Algoritma Modified P&O diperkenalkan untuk mengatasi kelemahan algoritma P&O konvensional, seperti osilasi di sekitar titik daya maksimum dan deviasi akibat perubahan iradiasi. Hasil pengujian menunjukkan algoritma Modified P&O berhasil meningkatkan efisiensi sistem dengan daya maksimum 9,15 W dibandingkan algoritma P&O konvensional sebesar 8,5 W. Selain itu, algoritma Modified P&O mampu mengurangi osilasi dan menghasilkan stabilitas yang lebih baik pada titik daya maksimum meskipun terjadi variasi intensitas radiasi. Penelitian ini memberikan kontribusi dalam pengembangan sistem MPPT berbasis teknologi Arduino untuk aplikasi energi terbarukan, khususnya pembangkit listrik tenaga surya.

Kata Kunci— MPPT, Modified P&O, Arduino, Buck-Boost Converter, Fotovoltaik

I. PENDAHULUAN

Energi matahari adalah salah satu sumber energi baru terbarukan yang ramah lingkungan dan menjadi isu yang sangat menarik sebagai solusi permasalahan pemanasan global. Sel fotovoltaik (PV) adalah salah satu teknologi sumber energi alternatif yang dapat mengonversi energi foton menjadi energi listrik dengan arus DC [1]. Panel surya akan menerima cahaya matahari, dimana akan terjadi pelepasan elektron dari atomik dan terjadi aliran, mengembangkan serangkaian listrik untuk memberikan listrik [2]. Panel surya memiliki karakteristik khusus pada kurva arus dan tegangannya, dimana pada intensitas tertentu terdapat nilai daya maksimum. Puncak ini

menunjukkan jumlah daya maksimum yang dapat disuplai oleh panel surya ke beban [3]. Diperlukan suatu algoritma untuk mencari dan mempertahankan titik daya maksimum (MPP) pada titik operasi tersebut. Algoritma perturb and observe (P&O) dipilih sebagai algoritma kendali MPPT karena komputasinya sederhana dan cepat [4]. Energi maksimum dari panel surya PV dengan efisiensi tertinggi dapat diekstraksi dengan menggunakan Teknik Pelacakan Titik Daya Maksimum (MPPT). Perangkat pengontrol Pelacakan Titik Daya Maksimum ini diimplementasikan untuk mengatur Konverter DC-DC untuk mengekstrak energi matahari secara optimal dari modul panel surya. Sistem panel PV mempunyai kurva karakteristik tegangan daya dan kurva karakteristik tegangan arus [5]. Converter

DC-DC diperlukan untuk mengatur tegangan output dari modul PV agar dapat mencapai titik daya maksimum. Converter buck-boost berfungsi untuk mengubah tegangan input DC menjadi tegangan output DC yang lebih tinggi atau lebih rendah. Converter ini merupakan kombinasi dari dua jenis topologi converter yang berbeda, yaitu converter buck dan converter boost. Namun, converter buck-boost juga dapat membalikkan tegangan output [6].

Pada titik tersebut panel surya berada pada keadaan optimal, baik dari tegangan dan arus yang dihasilkan. Ketika tegangan dan arus yang dihasilkan maksimal maka akan mendapatkan keluaran daya yang maksimal [7]. Untuk menyamakan tegangan dari kedua sumber energi tersebut, digunakan rangkaian buck-boost converter. Penggunaan buck-boost converter yaitu berdasarkan pada fungsinya yang dapat menurunkan tegangan (buck) dan dapat menaikkan tegangan (boost) dengan cara mengatur nilai duty cycle. Nilai duty cycle akan diatur secara otomatis oleh mikrokontroler Arduino[8]. Setelah sensor arus INA219 dan sensor tegangan menerima output dari PV maka akan dikirimkan ke Arduino UNO untuk menerima instruksi [9], [10]. Arduino UNO digunakan untuk memproses data laju algoritma [11].

Tegangan DC yang dihasilkan dari sumber energi terbarukan ini bersifat fluktuatif (berubah-ubah). Oleh karena itu dibutuhkan sebuah konverter tegangan agar tegangan yang dihasilkan dapat lebih tinggi atau lebih rendah dari tegangan masukan, salah satunya yaitu dengan menggunakan DC to DC converter. Dengan sistem buck-boost converter nilai tegangan keluaran dapat diatur agar lebih besar atau lebih kecil dari nilai tegangan masukannya [12].

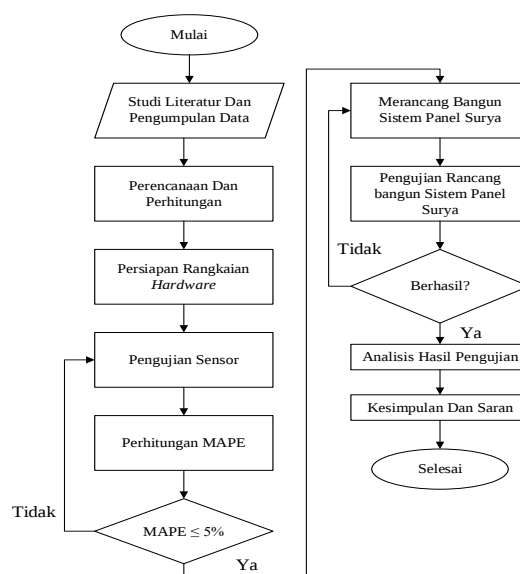
Banyak peneliti mengusulkan varian metode P&O yang dikenal dengan nama algoritma P&O adaptif untuk mengatasi kelemahan. Algoritma P&O adaptif menggunakan mekanisme cerdas untuk mengubah ukuran gangguan guna mengurangi osilasi daya disisi lain, beberapa penelitian melakukan perubahan pada algoritma sebelumnya untuk meningkatkan efisiensi kerja dinamis sistem PV [13]. Sehingga MPP dapat direalisasikan dari modul PV. Modul PV mandiri sederhana dengan nilai default pabrik telah disimulasikan. Dan hasil simulasi konverter yang terbaik adalah konverter dengan tipe buck-boost dalam hal menemukan titik daya maksimum, kinerja transien yang baik, daya riak kecil (bahkan mendekati presentase nol) dan implementasi perangkat yang disederhanakan[14]

Dengan pertimbangan kemampuan laptop maka peneliti ini sedikit berbeda dari penelitian yang sudah ada, yaitu membuat perancangan sistem MPPT berbasis algoritma modified P&O dengan arduino menggunakan konverter DC-DC

pada photovoltaic. Sumber yang digunakan untuk panel surya yaitu lampu halogen. arduino UNO untuk memproses laju data algoritma yang akan digunakan sebagai acuan untuk mengoperasikan rangkaian buck-boost converter dan driver mosfet, sehingga didapatkan output tegangan dan daya yang diharapkan.

II. METODE PENELITIAN

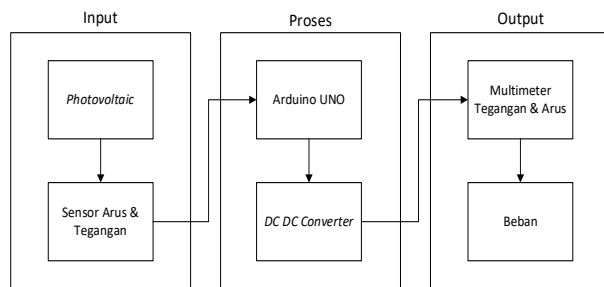
Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode eksperimen dan analisis data.



Gambar 1 diagram alir penelitian

Pada Gambar 1 diagram alir penelitian Gambar 3.1 menunjukkan penelitian ini dimulai dari studi literatur baik dari buku, maupun dari jurnal hasil penelitian sebelumnya. Langkah selanjutnya yakni mengumpulkan data-data dari penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan penelitian ini. Kemudian melakukan perencanaan dan perhitungan, selanjutnya mempersiapkan rangkaian hardware. Kemudian melakukan uji coba sensor dan menghitung mean absolut percentage error (MAPE). Apabila MAPE yang diperoleh $\leq 5\%$. Maka penelitian dapat dilanjutkan dengan merancang bangun sistem panel surya dengan rangkaian buck-boost converter dengan algoritma P&O (perturb and Observe) serta menggunakan arduino UNO sebagai kontrol pemrograman. Kemudian melakukan pengujian rancang bangun sistem panel surya dan analisa hasil pengujian. Langkah yang terakhir yakni menarik kesimpulan dan saran dari hasil penelitian.

Adapun tahapan blok diagram alir sistem PV adalah sebagai berikut:



Gambar 2 flowchart simulasi pada pvsyst

Pada Gambar 2 menampilkan desain blok diagram sistem photovoltaic menggunakan algoritma P&O dengan buck-boost converter untuk mencapai sistem panel surya yang optimal. Catu daya atau adaptor menyuplai tegangan ke Arduino, dan sensor tegangan serta sensor arus mendeteksi tegangan dan arus dari photovoltaic. Kemudian arduino menerima instruksi dari program dan menjalankan algoritma P&O. Algoritma ini kemudian dikirim ke rangkaian DC DC converter, untuk pengukuran nilai tegangan dan arus keluaran dari DC DC converter menggunakan alat multimeter.

Peneliti ini menggunakan panel surya merk Shinyoku 20 Wp, pada daya maksimum adalah 20 W, tegangan 17,2 V dan arus 1,16 A.

Tabel 1. Spesifikasi Photovoltaic yang digunakan

Spesifikasi	Keterangan
Merk	SHINYOKU
Model	156P-20
Maximum Power (Pmax)	20 W
Maximum Power Voltage (Vmp)	17,2 V
Maximum Power Current (Imp)	1,16 A
Open Circuit Voltage (Voc)	20,64 V
Short Circuit Current (Isc)	1,3 A
Nominal Operating Cell Temp (Noct)	45±2°C
Maximum System Voltage	1000 V
Maximum Series Fuse	16 A

Lampu halogen juga digunakan untuk pengambilan data yang dilakukan di Lab Elektro UNISMA. Peneliti ini menggunakan lampu halogen dengan daya 500 W.

Tabel 2. Spesifikasi Lampu Halogen

Spesifikasi	Keterangan
Merk	KSR
Daya	500 W
Tegangan	220 V
Frekuensi Kerja	50 Hz

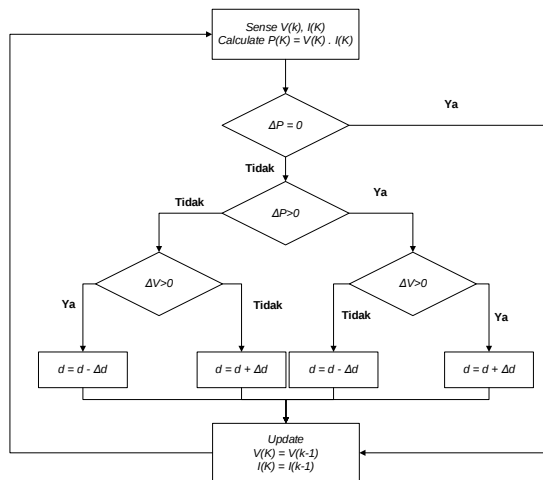
Peneliti menggunakan Arduino UNO untuk control dan Arduino IDE untuk pemrograman. Converter buck-boost bekerja sebagai impedansi penghubung antara sel PV dan sistem beban. Komponen converter buck-boost adalah inductor L, driver mosfet, diode, kapasitor Cmin. Parameter perancangan *buck-boost* ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3. Parameter konverter *Buck-boost*

Parameter	Nilai
V Input	17,2 Vdc
Duty cycle	5% - 55%
Frekuensi <i>switching</i>	33000 Hz
Nilai Tahanan	100 Ω
Riak Tegangan	0.2 V

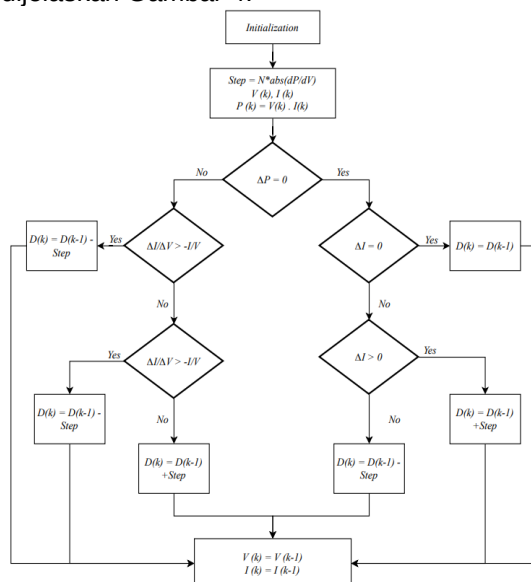
Nilai daya yang dihasilkan oleh PV dihitung dari hasil perkalian antara arus dan tegangan yang terukur. Nilai daya ini digunakan sebagai variable input pada algoritma MPPT (*maximum power point tracking*) untuk menentukan nilai duty cycle. Fungsi dari sury cycle adalah untuk mengontrol daya pada blok algoritma dan kemudian diubah menjadi sinyal PWM (*pulse width modulation*). Sinyal PWM ini diteruskan ke converter DC-DC yang menghasilkan tegangan dan arus keluaran. Nilai daya keluaran dari converter tersebut selanjutnya dianalisis dengan membandingkan terhadap daya masukan.

Setelah nilai ΔP dan ΔV adalah nilai $\Delta P = 0$ maka akan langsung memperbarui duty cycle, jika nilai $\Delta p > 0$ dan nilai $\Delta V > 0$ maka duty cycle akan ditambah, jika nilai tidak $\Delta P > 0$ dan nilai tidak $\Delta V > 0$ maka duty cycle akan diturunkan. Setiap kali terjadi perubahan pada duty cycle maka akan terlihat perubahan daya nya ΔP . jika daya sekarang lebih besar dibanding daya sebelumnya, maka duty cycle akan dinaikkan lagi. Jika daya yang sekarang lebih kecil dibanding daya yang sebelumnya maka duty cycle akan diturunkan bisa dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Flowchart algoritma P&O

Penelitian ini fokus pada modifikasi algoritma P&O dengan mengevaluasi nilai stepnya. Step ini nilainya diganti suatu persamaan dengan mengecek nilai kemiringan nilai daya dibagi nilai tegangan yang terdeteksi di sensor. Perubahan siklus kerja PWM dihitung dengan menggunakan persamaan $\text{step} = N \cdot \text{abs}(dP/dV)$ [15], persamaan ini mengatur seberapa besar perubahan yang dilakukan pada duty cycle berdasarkan perubahan daya terhadap tegangan yang diukur. N berfungsi untuk mengontrol seberapa cepat perubahan siklus kerja yang diterapkan, sementara $\text{abs}(dP/dV)$ menunjukkan seberapa besar respons daya terhadap perubahan tegangan. Dengan persamaan ini algoritma P&O dapat mencari titik daya maksimum secara efektif. Algoritma ini dijelaskan Gambar 4.



Gambar 4. Flowchart Algoritma Modified P&O

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam melakukan pengujian perbandingan MPPT berbasis algoritma modified P&O diperlukan kondisi yang sama untuk membandingkan daya

yang didapat oleh MPPT berbasis P&O dengan MPPT berbasis *modified* P&O. untuk pengujian sistem PV menggunakan sumber 3lampu halogen seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 5. Dua Modul PV Menggunakan Sumber Cahaya Tiga Lampu Halogen

Selanjutnya pengujian sensor tegangan yang diberikan masukan 5V, 10V, 15, 20V. Pengujian input sensor tegangan bertujuan untuk mengukur tegangan masukan sistem. Hasil dari perhitungan MAPE ditunjukkan pada tabel 4.

Tabel 4. Pengujian MAPE Sensor Tegangan

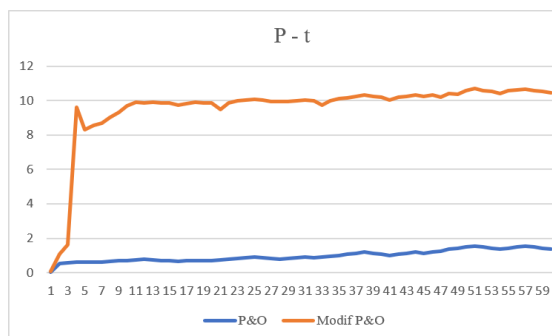
Tegangan Multimeter	Tegangan Sensor	MAPE%
5,34	5,46	-0,02
10,11	10,14	-0,03
14,98	15,02	-0,002
20,27	20,34	-0,003
MAPE		-0,013

Pengujian sensor arus INA219 bertujuan untuk mengukur arus masukan sistem. Berikut adalah hasil dari pengujian sensor INA219 yang ditunjukkan pada tabel 5.

Tabel 5. Pengujian MAPE Sensor Arus

Arus Multimeter	Arus Sensor	MAPE%
25,25	25,09	0,006
50,59	50,42	0,003
75,44	72,35	0,001
100,27	100,05	0,002
MAPE		0,003

Setelah dilakukan pengujian sensor, PV, dan sistem MPPT berbasis algoritma *modified* P&O dan algoritma P&O diuji performanya.

**Gambar 6.** Grafik Perbandingan Daya MPPT modified P&O dengan MPPT P&O

Terlihat pada Gambar 5 didapatkan hasil pengujian perbandingan antara nilai daya yang diperoleh MPPT berbasis modified P&O (peturb & observe) dengan MPPT berbasis P&O (peturb & observe). Dengan nilai daya maksimum di detik 56 MPPT berbasis modified P&O (peturb & observe) sebesar 9,15W dan MPPT berbasis algoritma P&O dengan nilai daya maksimum di detik 51 yaitu sebesar 1,57W.

Tabel 6. Hasil Pengujian MPPT Modif P&O dan MPPT P&O

DETIK	P&O	Modified P&O
	INPUT POWER	INPUT POWER
1	0,03	0,03
2	0,54	0,56
3	0,57	1,07
4	0,62	8,98
5	0,64	7,67
6	0,62	7,93
7	0,64	8,06
8	0,68	8,35
9	0,69	8,64
10	0,72	8,97
11	0,74	9,16
12	0,79	9,09
13	0,74	9,16

14	0,72	9,15
15	0,69	9,17
16	0,68	9,04
17	0,69	9,11
18	0,72	9,17
19	0,69	9,16
20	0,72	9,16
21	0,74	8,74
22	0,79	9,06
23	0,82	9,18
24	0,88	9,13
25	0,91	9,16
26	0,88	9,13
27	0,82	9,14
28	0,79	9,14
29	0,82	9,14
30	0,88	9,1
31	0,91	9,14
32	0,88	9,12
33	0,91	8,82
34	0,98	9,02
35	1,02	9,11
36	1,1	9,05
37	1,14	9,09
38	1,23	9,08
39	1,14	9,1
40	1,1	9,08
41	1,02	9,02
42	1,1	9,09
43	1,14	9,1
44	1,23	9,1
45	1,14	9,1
46	1,23	9,1
47	1,27	8,92
48	1,36	9,06
49	1,41	8,95
50	1,5	9,07
51	1,57	9,14
52	1,51	9,05
53	1,42	9,11
54	1,36	9,06
55	1,41	9,15
56	1,51	9,11
57	1,56	9,12
58	1,51	9,06
59	1,41	9,12

60	1,36	9,1
----	------	-----

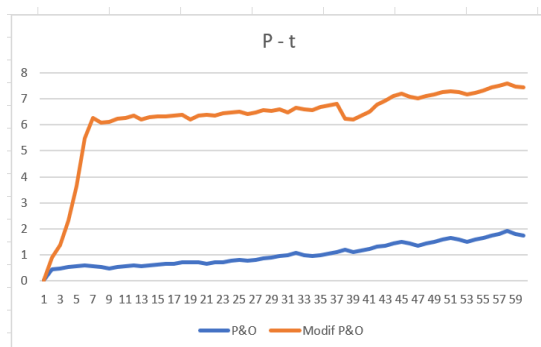
Terlihat pada Tabel 6. Ini adalah data yang telah diambil dari hasil pengujian MPPT berbasis algoritma modified P&O dan algoritma P&O.

Untuk pengujian kedua yaitu sedikit berbeda saat pengambilan data. Pengujian kedua ini menggunakan kondisi shading atau modul yang tertutup halangan. Dengan lama waktu yang sama yaitu 60 detik.



Gambar 7. Dua Modul Photovoltaic Dan Tiga Lampu Halogen Dengan Sistem Shading

Dalam melakukan pengujian MPPT dengan sistem shading berbasis algoritma modified P&O diperlukan kondisi yang tidak sama untuk membandingkan daya yang didapat oleh MPPT berbasis algoritma modified P&O dengan daya yang didapatkan dengan MPPT berbasis algoritma P&O.



Gambar 8. Grafik Sistem Shading Perbandingan Daya MPPT Modif P&O dan MPPT P&O

Terlihat dalam Gambar 8 menunjukkan adanya grafik daya perbandingan antara algoritma modified P&O dan algoritma P&O dengan menggunakan system shading. Pada grafik warna biru memperlihatkan bahwa Ketika shading daya terlihat naik tetapi bertahap, tidak seperti grafik warna oren yang langsung naik tajam ketika shading. MPPT yang menggunakan modified P&O terlihat adanya osilasi yang signifikan sehingga membuat daya terlihat naik turun tetapi semakin

lama perlahan mencari titik stabil. Pada detik ke-1 sampai dengan detik ke-7 grafik naik (boost) secara perlahan dan pada detik ke- 8 grafik terlihat turun (buck). Dan untuk di detik ke-9 hingga detik ke-37 terlihat stabil naik meski terjadi osilasi. Pada detik ke-38 terjadi penurunan (buck) dan perlahan naik (boost) hingga detik ke- 60. Sementara untuk MPP algoritma P&O pada detik ke-1 sampai dengan detik ke-2 grafik terlihat naik (boost) dan pada detik ke-6 sampai dengan detik ke-9 grafik terlihat turun (buck). Pada detik ke-10 sampai dengan detik ke-58 grafik naik (boost) meski terjadi osilasi disekitar MPP untuk detik ke-59 sampai dengan detik ke-60 grafik turun (buck). Nilai daya menggunakan algoritma modified P&O tertinggi yaitu 5,73W sedangkan nilai daya terendah yaitu 0,02W. Nilai daya menggunakan algoritma P&O yang tertinggi yaitu 1,92W sedangkan nilai daya yang terendah yaitu 0,02W.

Tabel 7. Hasil pengujian MPPT Modif P&O dan MPPT P&O dengan sistem Shading

DETIK	P&O	Modified P&O
	INPUT POWER	INPUT POWER
1	0,02	0,02
2	0,46	0,44
3	0,49	0,88
4	0,54	1,78
5	0,56	3,08
6	0,61	4,87
7	0,56	5,7
8	0,54	5,54
9	0,49	5,62
10	0,54	5,7
11	0,56	5,71
12	0,61	5,73
13	0,57	5,62
14	0,61	5,68
15	0,63	5,68
16	0,66	5,66
17	0,67	5,68
18	0,71	5,68
19	0,73	5,48
20	0,71	5,63
21	0,67	5,7
22	0,71	5,63
23	0,73	5,7
24	0,78	5,68
25	0,8	5,69
26	0,78	5,64

27	0,81	5,67
28	0,86	5,7
29	0,89	5,64
30	0,96	5,62
31	0,99	5,49
32	1,07	5,58
33	0,99	5,59
34	0,96	5,59
35	0,99	5,68
36	1,06	5,68
37	1,11	5,69
38	1,19	5,03
39	1,11	5,1
40	1,18	5,18
41	1,23	5,27
42	1,31	5,46
43	1,36	5,56
44	1,45	5,65
45	1,5	5,68
46	1,45	5,63
47	1,36	5,64
48	1,45	5,64
49	1,49	5,66
50	1,59	5,66
51	1,64	5,65
52	1,6	5,66
53	1,5	5,66
54	1,59	5,63
55	1,64	5,67
56	1,75	5,67
57	1,8	5,68
58	1,92	5,65
59	1,8	5,67
60	1,75	5,67

Terlihat pada Tabel 7 Ini adalah data yang telah diambil dari hasil pengujian MPPT berbasis algoritma modified P&O dan algoritma P&O dengan kondisi *shading*.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan dari perancangan, pengujian, hasil dan analisis yang telah dilakukan dalam penelitian ini, dapat diambil kesimpulan:

1. Rancangan sistem photovoltaic dengan MPPT berbasis algoritma modified P&O (peturb & observe) setelah dirangkai menjadi sebuah rancang bangun yang utuh menunjukkan hasil performa yang cukup baik dengan Mean Absolut Precentage Error

(MAPE). Hasil MAPE yang diperoleh sensor tegangan sebesar -0,013% dan hasil MAPE yang diperoleh sensor arus INA219 sebesar 0,003%.

2. Hasil pengujian rangkaian sistem PV dengan MPPT berbasis algoritma modified P&O (peturb & observe) dengan sumber cahaya menggunakan lampu halogen dalam keadaan tanpa halangan dan dengan kondisi shading. Pada pengujian keadaan tanpa halangan didapatkan mencapai titik MPP yang optimal dan stabil dengan daya maksimum 9,15W di detik ke 56 dan untuk pengujian dengan kondisi shading titik MPP maksimum dengan daya 5,69W di detik ke 37.

Dari hasil validasi yang diperoleh, dilakukan analisis terhadap pola kurva perubahan tegangan dan daya yang dihasilkan dari pengujian. Rancang bangun photovoltaic berbasis algoritma modified P&O (peturb & observe) dengan converter DC-DC ini telah diimplementasikan dengan baik. Dari hasil pengujian, penulis memberikan saran sebagai berikut untuk penelitian selanjutnya yaitu saat melakukan pengujian memastikan dengan cahaya yang lebih stabil seperti dari cahaya lampu LED dan cahaya matahari saat kondisi cerah dan memakai panel surya yang lebih besar agar didapatkan hasil titik daya yang besar

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S W Efendi, "ANALISA PERBANDINGAN IMPLEMENTASI MPPT PV BERBASIS ALGORITMA P&O DAN IC DENGAN ARDUINO UNO," *Electronic Control, Telecommunication, Computer Information and Power Systems*, vol. 7, no. 1, pp. 14–20, 2022.
- [2] E. Amelia Widyastuti, R. Riantiarna, W. Kurniawati, and U. PGRI Yogyakarta, "EFEKTIVITAS PANEL SURYA SEBAGAI CADANGAN PENGGANTI ENERGI LISTRIK SKALA RUMAHAN," *Jurnal Ilmu Teknik*, vol. 1, no. 2, pp. 256–260, 2024, doi: 10.62017/tektunik.
- [3] Putriani, M. Basyir, and Muhaimin, "SISTEM MONITORING ALAT UJI KARAKTERISTIK PANEL SURYA BERBASIS MIKROKONTROLER," *JURNAL TEKTRONIK*, vol. 3, no. 2, pp. 102–112, 2019.
- [4] R. Tjatur Widodo and A. dan Purnomo Sejati, "MAXIMUM POWER POINT TRACKER SEL SURYA MENGGUNAKAN ALGORITMA PERTURB AND OBSERVE."
- [5] E. S. Wirateruna, M. J. Afroni, and F. Badri, "Design of Maximum Power Point Tracking Photovoltaic System Based on Incremental Conductance Algorithm using Arduino Uno and Boost Converter," *Applied Technology*

- and Computing Science Journal, vol. 4, no. 2, pp. 101–112, May 2022, doi: 10.33086/atcsj.v4i2.2450.
- [6] S. A. Lopa, S. Hossain, M. K. Hasan, and T. K. Chakraborty, “Design and Simulation of DC-DC Converters,” *International Research Journal of Engineering and Technology*, 2015, [Online]. Available: www.irjet.net
- [7] A. Faizal, B. Setyaji, J. Teknik Elektro, F. Sains dan Teknologi, U. H. Sultan Syarif Kasim Riau Jl Soebrantas No, and S. Baru, “Desain Maximum Power Point Tracking (MPPT) pada Panel Surya Menggunakan Metode Sliding Mode Control,” *Jurnal Sains, Teknologi dan Industri*, vol. 14, no. 1, pp. 22–31, 2016.
- [8] B. Triyono and Y. Prasetyo, “RENEWABLE ENERGY MULTI INPUTS IN DC BUS SYSTEM USING BUCK BOOST CONVERTER,” 2019. [Online]. Available: <http://www.journal.geutheeinstitute.com>.
- [9] H. Wildan Fahruri, W. Aribowo, M. Widyartono, and A. Chandra Hermawan, “Monitoring Arus, Tegangan, dan Suhu Pada Prototype Thermoelectric Generator Berbasis IoT.”
- [10] H. Tri Monda and P. Santi Rudati, “Sistem Pengukuran Daya pada Sensor Node Wireless Sensor Network.”
- [11] A. P. Zanofa, R. Arrahman, M. Bakri, and A. Budiman, “PINTU GERBANG OTOMATIS BERBASIS MIKROKONTROLER ARDUINO UNO R3,” 2020.
- [12] M. Sodikul Aminurhuda, M. Jasa’ Afroni, and E. S. Wirateruna, “RANCANG BANGUN PANEL SURYA UNTUK SISTEM PANEL SURYA SECARA OPTIMUM DENGAN ALGORITMA P&O DENGAN BUCK-BOOST CONVERTER,” 2023.
- [13] A. Belkaid, I. Colak, and K. Kayisli, “Implementation of a modified P&O-MPPT algorithm adapted for varying solar radiation conditions,” *Electrical Engineering*, vol. 99, no. 3, pp. 839–846, Sep. 2017, doi: 10.1007/s00202-016-0457-3.
- [14] A. Trisna Nugraha *et al.*, “Penggunaan Algoritma Gangguan Dan Observasi Pada Sistem Pelacak Titik Daya Maksimum Pada Sel Surya Menggunakan Konverter DC-DC Fotovoltaik Use of Perturbation and Observation Algorithm in Tracking System for Maximum Power Point in Solar Cells Using DC-DC Photovoltaics Converters,” *Jurnal Janitra Informatika dan Sistem Informasi*, vol. 1, no. 1, pp. 8–18, 2021, doi: 10.25008/janitrav1i1.107.
- [15] A. Loukriz, M. Haddadi, and S. Messalti, “Simulation and experimental design of a new advanced variable step size Incremental Conductance MPPT algorithm for PV systems,” *ISA Trans*, vol. 62, pp. 30–38, May 2016, doi: 10.1016/j.isatra.2015.08.006.