

ANALISA DESAIN PV MENGGUNAKAN ALGORITMA P&O (PERTURB AND OBSERVE) METODE ABDURRAZIQ BERBEBAN NON LINIER

Muhammad Andrian¹, Efendi S Wirateruna, Bambang Minto Basuki³

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

mrandrian615@gmail.com¹, efendi.s.wirateruna@unisma.ac.id², bambang.minto@unisma.ac.id³

Abstract

This study aims to analyze the Maximum Power Point Tracking (MPPT) system based on the Modified Perturb and Observe (P&O) Algorithm using Arduino and a Boost Converter on a Photovoltaic (PV) module. MPPT techniques are crucial for optimizing PV output power under varying solar radiation conditions to ensure maximum efficiency. To overcome the shortcomings of the non-modified P&O algorithm, such as oscillations around the maximum power point and deviations due to irradiation changes, the modified P&O algorithm is introduced. Experimental results show that the Modified P&O Algorithm successfully increases the maximum power to 2.99W, compared to 2.92W achieved by the non-modified version. Additionally, the Modified P&O Algorithm has the ability to reduce oscillations and improve stability at the maximum power point, even under fluctuating solar radiation intensities. This research contributes to the development of Arduino-based MPPT systems for renewable energy applications, especially solar power generation.

Keywords— MPPT, Modified P&O, Arduino, Boost Converter, Photovoltaic (PV)

Abstraksi

Penelitian ini ditujukan untuk menganalisa sistem Maximum Power Point Tracking (MPPT) berbasis algoritma P&O (Perturb and Observe) Modified menggunakan arduino dan konverter Boost pada modul Photovoltaic (PV). Untuk memastikan efisiensi maksimal Photovoltaic (PV) dalam berbagai kondisi radiasi matahari, teknik MPPT merupakan kunci dalam optimasi daya keluaran. Untuk mengatasi kelemahan algoritma P&O tanpa Modified, seperti osilasi di sekitar titik daya maksimum dan deviasi akibat perubahan iradiasi, algoritma modifikasi P&O diperkenalkan. Dalam hasil pengujian P&O Modified berhasil meningkatkan daya maksimum 2,99W dibandingkan algoritma P&O tanpa Modified sebesar 2,92W. Selain itu, algoritma P&O Modified memiliki kemampuan untuk mengurangi osilasi dan meningkatkan stabilitas pada titik daya maksimum meskipun terjadi variasi intensitas radiasi matahari. Penelitian ini membantu Anda membuat sistem MPPT berbasis teknologi Arduino untuk aplikasi energi terbarukan, terutama pembangkit listrik tenaga surya.

Kata Kunci : MPPT, Modified P&O, Arduino, Boost Converter, Photovoltaic (PV)

I. Pendahuluan

Energi matahari adalah sumber energi terbarukan yang berpotensi besar dalam mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil dan dampak perubahan iklim. Teknologi photovoltaic (PV) mengonversi energi foton dari sinar matahari menjadi listrik arus searah (DC) dan memiliki keunggulan dalam pemasangan serta pemeliharaan. Pengembangan PV menghadapi tantangan seperti pemilihan material yang efisien, desain sistem optimal, dan integrasi dengan jaringan listrik. Dengan inovasi yang terus berkembang, PV berperan penting dalam transisi menuju energi bersih dan berkelanjutan[1][2].

Teknologi energi terbarukan terus berkembang, namun efisiensi konversi daya dalam sistem energi terbarukan hibrida (HRES) masih

menjadi tantangan besar. Konverter konvensional dan teknik kontrol sering kali kurang optimal, sehingga para peneliti mulai fokus pada perancangan konverter DC-DC berbasis elektronik yang lebih efisien. Peningkatan efisiensi ini sangat penting untuk mengoptimalkan kinerja HRES dan meningkatkan pemanfaatan sumber energi terbarukan seperti matahari dan angin[3].

MPPT (Maximum Power Point Tracking) menggunakan konverter DC-DC untuk mengoptimalkan daya keluaran panel PV dengan menyesuaikan tegangan pada titik daya maksimum (MPP). Algoritma Perturb and Observe (P&O) mengontrol duty cycle konverter dengan mengubah tegangan dan arus berdasarkan suhu serta radiasi matahari. Jika daya meningkat, duty cycle diteruskan; jika menurun, arah perubahan dibalik. Metode ini efektif dalam kondisi radiasi

stabil, tetapi kurang optimal untuk perubahan cepat atau suhu ekstrem[4]

Algoritma P&O dalam MPPT mengoptimalkan daya sistem PV dengan mengubah duty cycle konverter DC-DC secara periodik dan memantau perubahan daya. Jika daya meningkat, arah perubahan dipertahankan; jika menurun, arah dibalik. Metode ini sederhana dan efisien, tetapi kurang optimal untuk perubahan radiasi atau suhu yang cepat[5]. Dalam penelitian ini, diusulkan metode MPPT baru yang mengadaptasi algoritma P&O yang dimodifikasi untuk meningkatkan efisiensi dalam mencari titik daya maksimum dari panel PV[6][7]. Metode ini diimplementasikan dengan menggunakan konverter DC-DC, yaitu konverter *boost*, untuk mengatur tegangan keluaran[8].

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[5].

Untuk menyamakan tegangan dari kedua sumber energi tersebut, digunakan rangkaian boost converter. Penggunaan boost converter yaitu berdasarkan pada fungsinya yang dapat menaikkan tegangan (*boost*) dengan cara mengatur nilai duty cycle[9]. Nilai duty cycle akan diatur secara otomatis oleh mikrokontroler Arduino[10]. Setelah sensor arus dan tegangan ACS712 menerima output dari PV maka akan dikirimkan ke Arduino UNO untuk menerima instruksi. Arduino UNO digunakan untuk memproses data laju algoritma.

Tegangan DC yang dihasilkan dari sumber energi terbarukan ini bersifat fluktuatif (berubah ubah)[11]. Oleh karena itu dibutuhkan sebuah konverter boost agar tegangan yang dihasilkan dapat lebih tinggi dari tegangan masukan salah satunya yaitu dengan menggunakan DC to DC converter. Dengan sistem boost converter nilai tegangan keluaran dapat diatur agar lebih besar dari nilai tegangan masukannya[12].

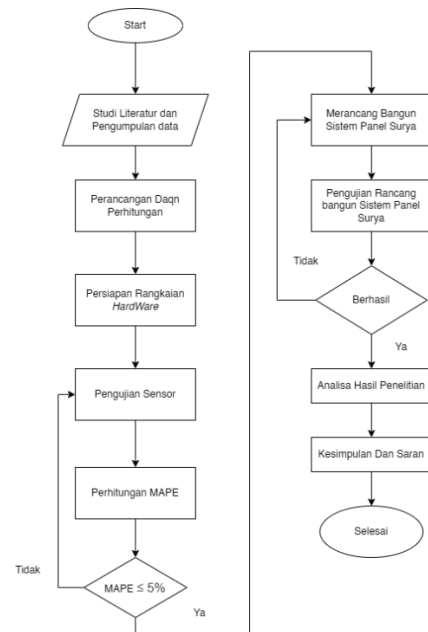
Banyak peneliti mengusulkan varian metode P&O yang dikenal dengan nama algoritma P&O adaptif untuk mengatasi kelemahan. Algoritma P&O adaptif menggunakan mekanisme cerdas untuk mengubah ukuran gangguan guna mengurangi osilasi daya disisi lain, beberapa penelitian melakukan perubahan pada algoritma sebelumnya untuk meningkatkan efisiensi kerja dinamis sistem PV.[13]

Dengan pertimbangan kemampuan laptop maka peneliti ini sedikit berbeda dari penelitian yang sudah ada, yaitu menganalisa desain PV menggunakan algoritma P&O dengan metode

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

II. Metode Penelitian

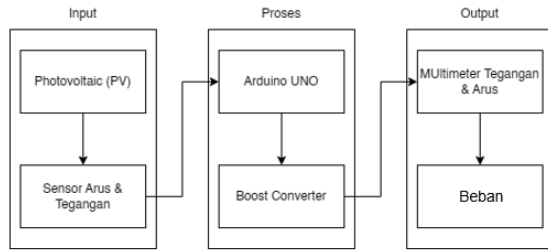
Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode eksperimen dan analisis data.



Gambar 1.Diagram alir Penelitian

Pada Gambar 1 menunjukkan bagaimana penelitian ini dimulai dengan meninjau literatur dari buku dan jurnal hasil penelitian sebelumnya. Langkah selanjutnya adalah mengumpulkan informasi dari penelitian sebelumnya tentang subjek penelitian ini. Setelah itu, perencanaan dan perhitungan dilakukan, dan persiapan rangkaian hardware dilakukan. Kemudian melakukan uji coba pada sensor dan menghitung mean absolut percentage error (MAPE). Jika MAPE yang diperoleh kurang dari 5%, maka penelitian dapat dilanjutkan. Untuk melakukan ini, kami akan menggunakan rangkaian pengubah *buck-boost* dengan algoritma P&O (peturb dan observasi) dan kontrol pemrograman menggunakan arduino UNO. Setelah itu, melakukan pengujian rancang bangun sistem panel surya dan memeriksa hasilnya. Langkah terakhir adalah mengambil kesimpulan dan rekomendasi dari penelitian

Adapun blok diagram sistem PV adalah sebagai berikut:



Gambar 2 Blok Diagram Sistem PV

Pada Gambar 2 menampilkan desain blok dengan sistem *Photovoltaic* (PV) menggunakan algoritma P&O dengan *Boost Converter* untuk mencapai sistem panel surya yang lebih optimal. Catu daya atau adaptor yang menyuplai tegangan ke Arduino, dan sensor tegangan serta sensor arus yang mendeteksi tegangan dan arus dari *Photovoltaic*. Kemudian Arduino menerima intruksi dari program dan menjalankan algoritma P&O. Algoritma ini kemudian dikirim kerangkaan *Boost Converter* untuk pengukuran nilai tegangan dan arus keluaran dari *Boost Converter* menggunakan alat multimeter tegangan & arus

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
Normal Operating Cell Temp (Noct)	45±2 ⁰ C
Maximum System Voltage	1000 V
Maximum Series Fuse	16

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

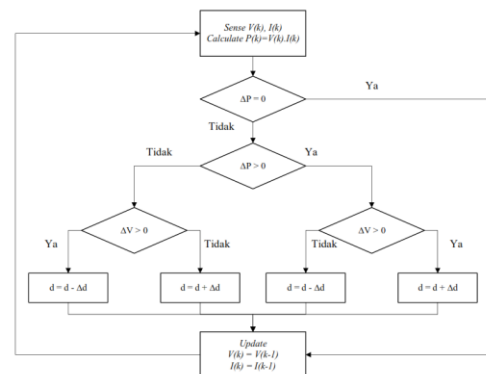
Peneliti menggunakan Arduino UNO untuk control dan Arduino IDE untuk pemrograman.

Converter boost bekerja sebagai impedansi penghubung antara sel PV dan sistem beban. Komponen converter boost adalah inductor L, driver mosfet, diode, kapasitor Cmin. Parameter perancangan boost ditunjukkan Taabel 3

Tabel 3 Parameter Converter Boost

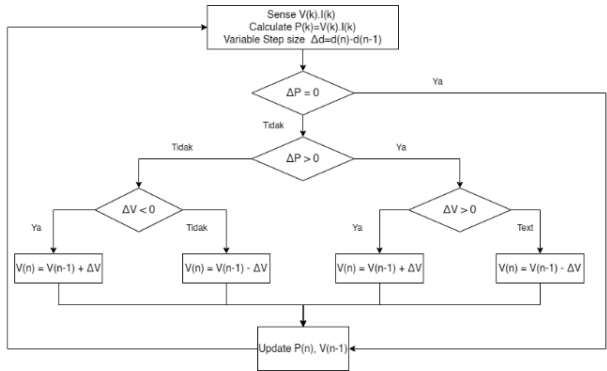
Parameter	Nilai
Tegangan masukan	40 Volt
Tegangan Keluaran	50 Volt
Frekuensi	33kHz
Duty cycle	5-70%
Ripple tegangan	0,01
Arus	±1 A

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 $\Delta \Delta V$ 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

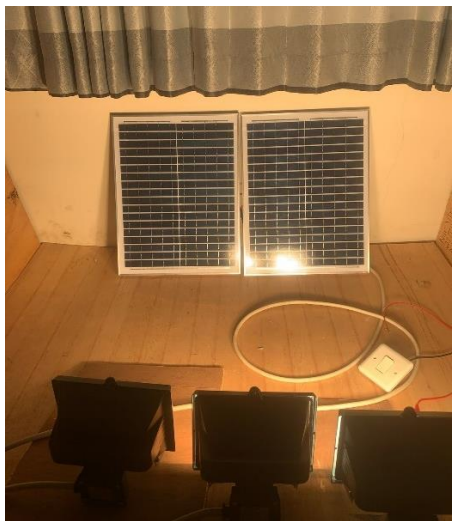
Penelitian ini fokus pada modifikasi algoritma P&O dengan mengevaluasi nilai stepnya. Step ini nilainya diganti suatu persamaan dengan mengecek nilai kemiringan nilai daya dibagi nilai tegangan yang terdeteksi di sensor. Perubahan siklus kerja PWM dihitung dengan menggunakan persamaan $\text{step} = N \cdot \text{abs}(dP/dV)$, 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 Algoritmat P&O Modified

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 5



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

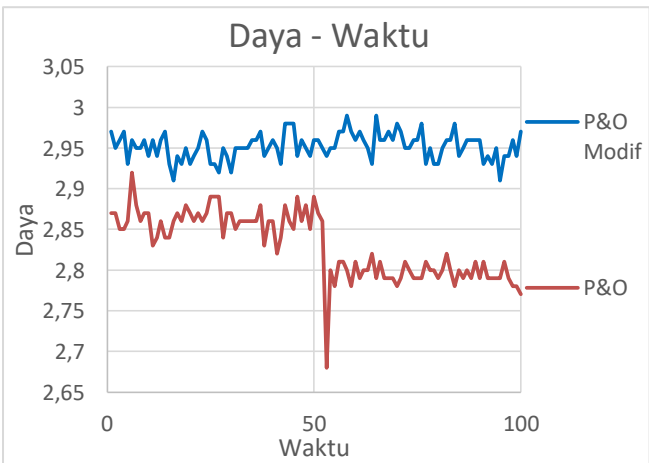
Tegangan Multimeter (V)	Tegangan Sensor (V)	MAPE (%)
5,06	5,02	0,79%
10,10	10,02	0,79%
15,06	15,05	0,06%
20,08	20,02	0,29%
Mean Absolute Percentage Error (MAPE)		0,48%

Pengujian sensor arus ACS 712 bertujuan untuk mengukur arus masukan sistem. Berikut adalah hasil dari pengujian sensor ACS 712 yang ditunjukkan pada tabel 5

Tabel 5 Pengujian MAPE Sensor Arus

Arus Multimeter (mA)	Arus Sensor (mA)	MAPE (%)
25,30	25,10	0,79%
50,50	50,45	0,09%
75,45	75,35	0,13%
100,2	100,0	0,19%
Mean Absolute Percentage Error (MAPE)		0,30%

Terlihat pada Gambar 6 didapatkan hasil pengujian perbandingan antara nilai daya yang diperoleh MPPT berbasis modified P&O dengan MPPT berbasis P&O. Dengan nilai daya maksimum di detik 58 MPPT berbasis modified P&O sebesar 2,99W dan MPPT berbasis algoritma P&O dengan nilai daya maksimum didetik 6 yaitu sebesar 2,92W.



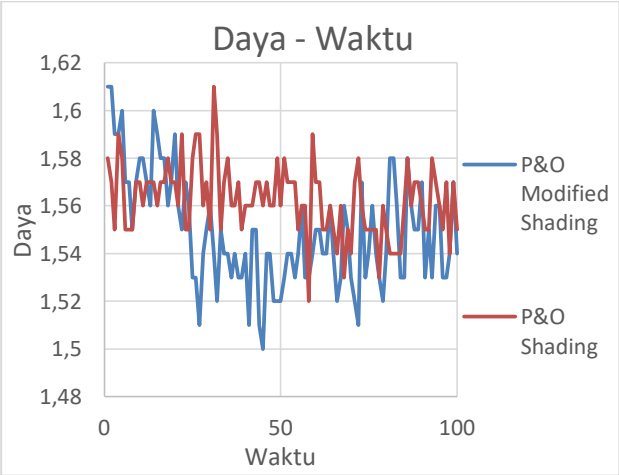
Gambar 6 Grafik Perbandingan Daya MPPT modified P&O dengan MPPT P&O

Terlihat pada tabel 6 merupakan hasil dari pengujian perbandingan antara nilai daya yang diperoleh MPPT berbasis modified P&O dengan MPPT berbasis P&O



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

Kesimpulan dari perbandingan grafik daya terhadap waktu dalam kondisi shading antara algoritma P&O (grafik oranye) dan Modified P&O (grafik biru) menunjukkan bahwa algoritma Modified P&O memiliki fluktuasi daya yang lebih besar dibandingkan algoritma P&O. Namun, algoritma Modified P&O mampu mencapai daya yang lebih tinggi pada beberapa titik waktu tertentu, sementara algoritma P&O cenderung lebih stabil dengan variasi daya yang lebih kecil. Hal ini mengindikasikan bahwa algoritma Modified P&O lebih responsif terhadap perubahan kondisi shading, sedangkan algoritma P&O lebih unggul dalam menjaga kestabilan daya. Kedua algoritma memiliki keunggulan masing-masing tergantung pada kebutuhan sistem

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

Tanpa Shading		Shanding		Detik
Input Daya P&O	Input Daya Modified P&O	Input Daya P&O	Input Daya Modified P&O	
2,87	2,97	1,58	1,61	1
2,87	2,95	1,57	1,61	2
2,85	2,96	1,55	1,59	3
2,85	2,97	1,59	1,59	4
2,86	2,93	1,58	1,6	5
2,92	2,96	1,55	1,57	6
2,88	2,95	1,55	1,57	7
2,86	2,95	1,55	1,55	8
2,87	2,96	1,57	1,57	9
2,87	2,94	1,57	1,58	10
2,83	2,96	1,56	1,58	11
2,84	2,94	1,57	1,57	12
2,86	2,96	1,57	1,56	13
2,84	2,97	1,57	1,6	14
2,84	2,93	1,56	1,59	15
2,86	2,91	1,57	1,58	16
2,87	2,94	1,57	1,58	17
2,86	2,93	1,58	1,56	18
2,88	2,95	1,57	1,57	19
2,87	2,93	1,57	1,59	20
2,86	2,94	1,56	1,56	21
2,87	2,95	1,59	1,55	22
2,86	2,97	1,55	1,57	23
2,87	2,96	1,55	1,56	24
2,89	2,93	1,58	1,53	25
2,89	2,93	1,59	1,53	26
2,89	2,92	1,59	1,51	27
2,84	2,95	1,56	1,54	28
2,87	2,94	1,57	1,55	29
2,87	2,92	1,55	1,56	30
2,85	2,95	1,61	1,54	31
2,86	2,95	1,59	1,52	32
2,86	2,95	1,55	1,55	33
2,86	2,95	1,57	1,54	34
2,86	2,96	1,58	1,54	35
2,86	2,96	1,56	1,53	36
2,88	2,97	1,56	1,54	37

Tanpa Shading		Shanding		Detik
Input Daya P&O	Input Daya Modified P&O	Input Daya P&O	Input Daya Modified P&O	
2,83	2,94	1,57	1,53	38
2,86	2,95	1,55	1,53	39
2,86	2,96	1,56	1,54	40
2,82	2,95	1,56	1,51	41
2,84	2,93	1,56	1,55	42
2,88	2,98	1,57	1,55	43
2,86	2,98	1,57	1,51	44
2,85	2,98	1,56	1,5	45
2,89	2,94	1,57	1,54	46
2,86	2,96	1,56	1,54	47
2,88	2,95	1,56	1,52	48
2,85	2,94	1,58	1,52	49
2,89	2,96	1,56	1,52	50
2,87	2,96	1,58	1,53	51
2,86	2,95	1,57	1,54	52
2,68	2,94	1,57	1,54	53
2,8	2,95	1,57	1,53	54
2,78	2,95	1,55	1,54	55
2,81	2,97	1,56	1,56	56
2,81	2,97	1,56	1,53	57
2,8	2,99	1,52	1,53	58
2,78	2,97	1,59	1,54	59
2,81	2,96	1,57	1,55	60
2,79	2,97	1,57	1,55	61
2,8	2,96	1,55	1,54	62
2,8	2,95	1,55	1,54	63
2,82	2,93	1,56	1,56	64
2,79	2,99	1,55	1,54	65
2,81	2,96	1,54	1,52	66
2,79	2,96	1,56	1,53	67
2,79	2,97	1,53	1,56	68
2,79	2,96	1,55	1,55	69
2,78	2,98	1,54	1,53	70
2,79	2,97	1,57	1,52	71
2,81	2,95	1,58	1,51	72
2,8	2,95	1,56	1,57	73
2,79	2,96	1,55	1,53	74
2,79	2,96	1,55	1,54	75
2,79	2,98	1,55	1,56	76

Tanpa Shading		Shanding		Detik
Input Daya P&O	Input Daya Modified P&O	Input Daya P&O	Input Daya Modified P&O	
2,81	2,93	1,55	1,54	77
2,8	2,95	1,53	1,53	78
2,8	2,93	1,56	1,52	79
2,79	2,93	1,55	1,54	80
2,8	2,95	1,54	1,58	81
2,82	2,96	1,54	1,58	82
2,8	2,96	1,54	1,56	83
2,78	2,98	1,54	1,53	84
2,8	2,94	1,56	1,53	85
2,79	2,95	1,58	1,58	86
2,8	2,96	1,56	1,56	87
2,79	2,96	1,57	1,55	88
2,81	2,96	1,57	1,55	89
2,79	2,96	1,56	1,57	90
2,81	2,93	1,55	1,53	91
2,79	2,94	1,55	1,55	92
2,79	2,93	1,58	1,53	93
2,79	2,95	1,57	1,56	94
2,79	2,91	1,56	1,56	95
2,81	2,94	1,55	1,53	96
2,79	2,94	1,57	1,53	97
2,78	2,96	1,54	1,54	98
2,78	2,94	1,57	1,57	99
2,77	2,97	1,55	1,54	100

IV. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa sistem MPPT menggunakan algoritma Modified P&O yang diimplementasikan pada mikrokontroler Arduino UNO mampu mengoptimalkan daya keluaran dari modul photovoltaic. Perancangan hardware mencakup sensor arus ACS712, sensor tegangan, serta boost converter yang dirancang untuk menjaga stabilitas sistem.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa algoritma Modified P&O lebih unggul dalam melacak titik daya maksimum dibandingkan algoritma P&O konvensional, terutama dalam kondisi shading dan perubahan beban. Validasi membuktikan bahwa pendekatan adaptif dari Modified P&O dapat mempertahankan daya maksimum secara efektif, menjadikannya solusi efisien bagi aplikasi energi terbarukan yang menghadapi fluktuasi lingkungan.

Daftar Pustaka

- [1] D. M. Noor, E. S. Wirateruna, and B. M. Basuki, "Implementasi Teknik Interkoneksi Cross-Tied Panel Surya dan Maximum Power Point Tracking (MPPT) Berbasis Algoritma Particle Swarm Optimization (PSO) Dalam Kondisi Partial Shading," *SCIENCE ELECTRO*, vol. nn, No. nn.
- [2] Efendi S Wirateruna, "ANALISA PERBANDINGAN IMPLEMENTASI MPPT PV BERBASIS ALGORITMA P&O DAN IC DENGAN ARDUINO UNO," 2022.
- [3] F. Mumtaz, N. Zaihar Yahaya, S. Tanzim Meraj, B. Singh, R. Kannan, and O. Ibrahim, "Review on non-isolated DC-DC converters and their control techniques for renewable energy applications," Dec. 01, 2021, *Ain Shams University*. doi: 10.1016/j.asej.2021.03.022.
- [4] 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.
- [5] 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."
- [6] M. I. Maulana, B. Minto Basuki, and E. S. Wirateruna, "Rancang Bangun Sistem MPPT Photovoltaic Berbasis Algoritma Modified Incremental Conductance dengan Arduino dalam Kondisi Irradiance yang Bervariasi." [Online]. Available: <http://riset.unisma.ac.id/index.php/infotron/article/view/20267>
- [7] 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.
- [8] 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
- [9] N. Hashim, Z. Salam, D. Johari, and N. F. N. Ismail, "DC-DC boost converter design for fast and accurate MPPT algorithms in stand-alone photovoltaic system," *International Journal of Power Electronics and Drive Systems*, vol. 9, no. 3, pp. 1038–1050, Sep. 2018, doi: 10.11591/ijpeds.v9.i3.pp1038-1050.
- [10] S. Samsugi, Z. Mardiyansyah, and A. Nurkholis, "SISTEM PENGONTROL IRIGASI OTOMATIS MENGGUNAKAN MIKROKONTROLER ARDUINO UNO," 2020.
- [11] A. Ahmad, M. Rafif Akhdan, and M. Riyan Ardiyansyah, *RANCANG BANGUN PHOTOVOLTAIC SIMULATOR UNTUK PENGUJIAN KARAKTERISTIK PANEL SURYA*. Telekomunikasi....
- [12] 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.
- [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.