

PENINGKATAN EFISIENSI MPPT MELALUI OPTIMALISASI ALGORITMA MODIFIKASI P&O (PERTURB & OBSERVE) PADA PHOTOVOLTAIC

Hana Rifai¹, Efendi S Wirateruna², Ngatmari³

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

21801053006@unisma.ac.id¹, efendi.s.wirateruna@unisma.ac.id², ngatmari@unisma.ac.id³

Abstract

Electrical energy is a necessity in daily life, as the population increases energy, the solution is the use of solar energy as a source of renewable energy, characterized by the use of photovoltaic systems to convert sunlight into electricity efficiently. The purpose of this study is to find the maximum power point of photovoltaic using the modified P&O algorithm under normal and shading conditions and to determine the results of the optimal photovoltaic test using a DC-DC converter with the modified P&O algorithm under normal and shading conditions. The modified P&O algorithm in the MPPT system is able to increase the effectiveness in tracking the maximum power point (MPP) compared to conventional P&O algorithms. Where the modified P&O and conventional P&O algorithms show unimpeded conditions, the modified P&O N4 produces a maximum power of 3.56W 24 seconds, superior to the conventional P&O of 3.24W 70 seconds. Showing P&O modifications provides better stability as the system response is slower making the duty cycle work system more stable. In contrast, the modified P&O N5 shading conditions show the best performance with a maximum power of 1.42W 38 seconds, higher than the conventional P&O of 1.1W 70 seconds. Demonstrated that the modified shading conditions of the P&O N5 have a faster system response, more effectively adjusting the duty cycle in reaching the maximum power point.

Keywords— MPPT, Modified P&O, Arduino, Boost Converter, Fotovoltaik

Abstraksi

Energi listrik merupakan kebutuhan dalam kehidupan sehari-hari, seiring meningkatnya populasi menyebabkan energi bertambah, solusinya adalah pemanfaatan energi surya sebagai sumber energi terbarukan, ditandai dengan penggunaan sistem fotovoltaik untuk mengkonversi sinar matahari menjadi listrik secara efisien. Tujuan penelitian ini untuk mencari titik daya maksimum photovoltaic menggunakan algoritma modified P&O dalam keadaan normal dan shading dan mengetahui hasil pengujian photovoltaic secara optimum menggunakan DC-DC converter dengan algoritma modified P&O dalam keadaan normal dan shading. Algoritma modified P&O pada sistem MPPT mampu meningkatkan efektivitas dalam melacak titik daya maksimum (MPP) dibandingkan dengan algoritma P&O konvensional. Dimana algoritma modified P&O dan P&O konvensional menunjukkan pada kondisi tanpa halangan, modified P&O N4 menghasilkan daya maksimum 3,56W detik 24, lebih unggul dibanding P&O konvensional 3,24W detik 70. Menunjukkan modifikasi P&O memberikan kestabilan lebih baik karena respons sistem lebih lambat membuat sistem kerja duty cycle lebih stabil. Sebaliknya, kondisi shading modified P&O N5 menunjukkan performa terbaik dengan daya maksimum 1,42W detik 38, lebih tinggi dibanding dan P&O konvensional sebesar 1,1W detik 70. Menunjukkan bahwa kondisi shading modifikasi P&O N5 memiliki respons sistem lebih cepat, lebih efektif menyesuaikan duty cycle dalam mencapai titik daya maksimum.

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

I. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan sumber energi yang sangat dibutuhkan dan bermanfaat dalam kehidupan sehari - hari. Sehingga kebutuhan untuk mendapatkan energi listrik semakin lama semakin meningkat karena adanya peningkatan jumlah dari populasi manusia itu sendiri [1]. Beberapa tahun terakhir, pemanfaatan panel surya untuk mengkonversi energi surya menjadi energi listrik semakin meningkat [2]. Energi matahari adalah salah satu sumber energi baru terbarukan yang ramah lingkungan dan menjadi

isu yang sangat menarik sebagai solusi permasalahan pemanasan global [3]. Untuk pemanfaatan energi surya di tandai dengan adanya *Photovoltaic*.

Photovoltaic (PV) adalah suatu alat yang dapat mengubah energi surya (foton) menjadi listrik arus searah yang merupakan salah satu komponen dalam Pusat Listrik Tenaga Surya [4]. Selain itu, konversi satu langkah dari sinar matahari menjadi listrik menggunakan sel fotovoltaik surya (PV) (terdiri dari bahan semikonduktor, sebagian besar silikon [5].

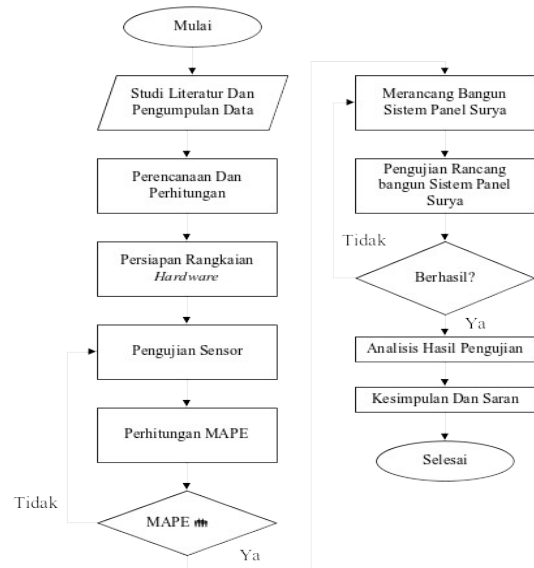
Dengan demikian, tegangan dan arus menjadi variabel penting yang digunakan sebagai acuan untuk mengontrol *converter boost* [6]. Untuk itu dibutuhkan sebuah rangkaian konverter DC-DC untuk meningkatkan efesiensi keluarannya [7]. Energi maksimum dari panel surya PV dengan efisiensi tertinggi dapat diekstraksi dengan menggunakan Teknik Pelacakan Titik Daya Maksimum (MPPT).

Pada titik tersebut panel surya berada pada keadaan optimal, baik dari tegangan dan arus yang dihasilkan. ketika tegangan dan arus berada pada nilai optimalnya, maka daya keluaran juga mencapai nilai maksimum, sesuai dengan prinsip MPP [8]. Oleh karena itu, panel surya membutuhkan *converter* DC DC untuk menghasilkan arus dan tegangan yang optimal dari panel surya menggunakan metode *Maximum Powerpoint Tracker* (MPPT) [9]. *Boost converter* atau yang dapat disebut dengan *step-up converter* merupakan suatu rangkaian penaik tegangan *input* DC agar diperoleh nilai *output* yang dikehendaki [10]. Nilai tegangan *output boost converter* dapat dinaikkan dengan cara mengubah nilai *duty cycle* pada pensaklaran rangkaian *boost converter* [3].

Dimana titik daya maksimum (MPP) dicapai melalui penyesuaian nilai *duty cycle* pada konverter DC-DC yang dikendalikan oleh algoritma *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) [11]. Arduino UNO digunakan untuk memproses data laju algoritma [12]. Banyak peneliti sebelumnya menyarankan menggunakan variasi metode P&O atau disebut juga algoritma P&O. Namun, metode ini juga memiliki kelemahan, seperti osilasi di sekitar MPP dan ketidakstabilan dalam kondisi perubahan iradiasi yang cepat [13]. Algoritma P&O adaptif menggunakan mekanisme cerdas untuk mengubah ukuran gangguan guna mengurangi osilasi daya disilain, beberapa penelitian melakukan perubahan pada algoritma sebelumnya untuk meningkatkan efisiensi kerja dinamis sistem PV. Tujuannya adalah mengatasi kelemahan yang ada pada algoritme P&O konvensional yang telah diterapkan pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya [14].

Dalam penelitian ini, diusulkan metode maximum power point tracking (MPPT) baru yang menggunakan algoritma perturb and observe (P&O) yang dimodifikasi untuk meningkatkan efisiensi dalam mencari titik daya maksimum dari photovoltaic. Metode ini diimplementasikan menggunakan DC-DC converter yaitu boost converter untuk mengatur tegangan keluaran sesuai dengan kebutuhan sistem. Dengan demikian, diharapkan efisiensi panel surya dapat ditingkatkan, sehingga kontribusi energi surya dalam pasokan energi global dapat lebih maksimal [13].

II. METODE PENELITIAN

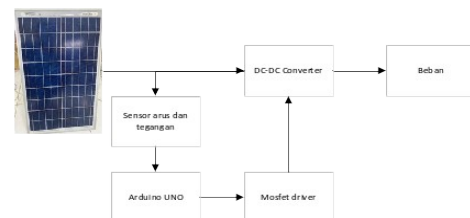


Gambar 1 diagram alir penelitian

Pada Gambar 1 menggambarkan alur penelitian yang dimulai dengan studi literatur dari buku dan jurnal terkait. Setelah merumuskan tujuan, dilakukan pengumpulan data relevan, perencanaan, serta perhitungan teknis. Selanjutnya, disiapkan rangkaian perangkat keras dan dilakukan pengujian sensor, termasuk perhitungan nilai Mean Absolute Percentage Error (MAPE).

Apabila MAPE yang dihasilkan sebesar $< 5\%$, proses berlanjut, jika tidak, kembali ke perbaikan pengujian sensor. setelah itu dilanjutkan merancang dan menguji sistem panel surya, jika pengujian berhasil lanjut ke analisis hasil. jika tidak sistem diperbaiki dan di uji ulang. Tahap terakhir adalah menganalisis hasil pengujian dan menarik kesimpulan dan memberikan saran dari penelitian ini.

Adapun tahapan blok diagram alir sistem PV adalah sebagai berikut:



Gambar 2 Blok diagram simulasi pada pv

Pada Gambar 2 menampilkan desain blok diagram sistem kerja *photovoltaic* mulai dari output panel surya menghasilkan energi listrik tegangan dan arus yang dialirkan ke DC-DC Converter untuk disesuaikan tegangannya sebelum disalurkan ke beban. Sebelumnya, arus dan tegangan keluaran dari panel surya diukur oleh sensor arus dan tegangan, kemudian

dikirimkan ke Arduino UNO. Arduino yang ditanami algoritma modifikasi P&O berfungsi sebagai pengendali utama untuk menghitung titik daya maksimum (MPP) dan menentukan *duty cycle* optimal. Sinyal kendali ini kemudian dikirim ke MOSFET driver, yang mengatur kerja switching pada DC-DC Converter agar sistem bekerja pada efisiensi maksimum sesuai dengan kondisi iradiasi.

Penelitian kami ini menggunakan *photovoltaic* merk shinyoku 20 Wp, dengan tegangan dan arus daya maksimu yang dapat di bangkitkan adalah sebesar 17,2V dan 1,16A.

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

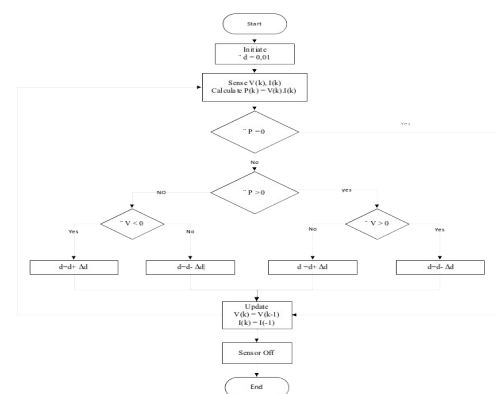
Dalam penelitian ini, sistem fotovoltaik menggunakan konverter boost yang berperan dalam menaikkan tegangan output dari modul fotovoltaik sebelum disuplai ke beban. Komponen utama dari konverter boost terdiri atas MOSFET, induktor, resistor, dan kapasitor. Parameter-parameter perancangan konverter boost dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Parameter konverter -boost

Parameter	Nilai
Tegangan masukan	17,2 Volt
Tegangan keluar	40 Volt
Frekuensi	33Hz
Duty cycle	5-70%
Ripple tegangan	0,01
Arus	±1A

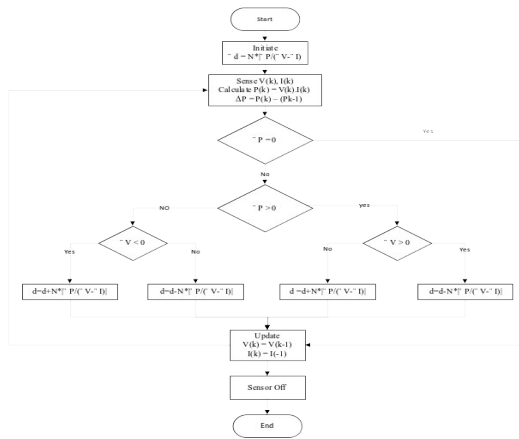
Pada penelitian ini parameter utama yang diamati adalah daya *output* panel surya, yang menjadi masukan bagi algoritma P&O. Nilai arus dan tegangan dari panel digunakan sebagai input MPPT untuk menentukan siklus kerja (*duty cycle*) yang optimal pada konverter *boost*. *Duty cycle* berguna untuk mengontrol daya yang ada dalam blok algoritma dan juga sinyal *Duty cycle* sebelum ya telah diubah menjadi sinyal PWM (*pulse width modulation*) [15].

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 . Setiap kali perubahan akan *duty cycle* dilihat perubahan daya nya. Apabila daya sekarang lebih besar dibandingkan daya sebelumnya, maka *duty cycle* akan dinaikkan lagi dan apabila daya *duty cycle* yang sekarang lebih kecil dibandingkan daya yang sebelumnya maka *duty cycle* akan diturunkan bisa dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Flowchart algoritma P&O

Pada penelitian ini fokus pada modifikasi Algoritma P&O dengan mengamati dan mengevaluasi nilai dari step [14]. Pada step ini nilainya diganti dengan suatu persamaan untuk mengecek nilai kemiringan nilai daya dibagi dengan nilai tegangan yang terdeteksi oleh sensor. Perubahan siklus kerja PWM dihitung dengan menggunakan persamaan $step\ D(k) = D(k-1) \pm N * |dP/(dV-DI)|$. Persamaan ini mengatur bagaimana ukuran langkah untuk MPPT berubah secara adaptif berdasarkan kondisi panel surya yang terus berubah dan juga mempengaruhi *duty cycle* dalam sistem MPPT, karena ukuran langkah yang dihitung (D) berkaitan langsung dengan perubahan tegangan yang diperlukan untuk mencapai titik daya maksimum (MPP), yang pada gilirannya mempengaruhi bagaimana konverter daya DC/DC beroperasi. Algoritma ini dijelaskan pada Gambar 4.



Gambar 4. Flowchart Algoritma Modified P&O

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam melakukan pengujian MPPT berbasis algoritma modified P&O diperlukan kondisi yang sama untuk membandingkan daya yang didapat oleh MPPT berbasis algoritma modified P&O dengan daya yang didapatkan dengan MPPT berbasis algoritma P&O. Untuk pengujian menggunakan dua lampu halogen dan dua modul *photovoltaic* untuk mempresentasikan perubahan radiasi yang sangat cepat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.



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

Selanjutnya pengujian sensor tegangan Sensor tegangan yang digunakan dirancang menggunakan dua buah resistor dengan nilai resistansi masing-masing 18 kΩ dan 2,2 kΩ. Pada tahap verifikasi, sensor diuji menggunakan catu daya (*power supply*) sebagai sumber tegangan input. Hasil dari perhitungan MAPE ditunjukkan pada tabel 4.

Tabel 4. Pengujian MAPE Sensor Tegangan

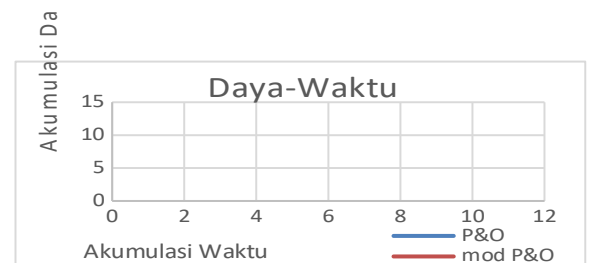
Tegangan Multimeter (V)	Tegangan Sensor (V)	MAPE%
5,08	5,04	0,078
10,12	10,08	0,039
15,06	15,05	0,06
20,04	20,05	0,04
Mean Absolute Percentage Error (MAPE)		0,31

Selanjutnya sensor arus ACS712 untuk mengukur arus pada panel surya (PV). Pada pengujian, power supply digunakan sebagai sumber masukan, dengan beban sebesar 1 kΩ. yang ditunjukkan pada tabel 5.

Tabel 5. Pengujian MAPE Sensor Arus

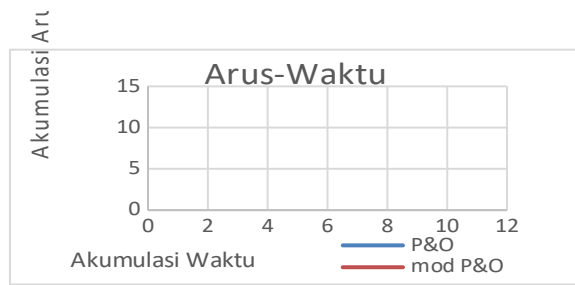
Arus Multimeter (mA)	Arus Sensor (mA)	MAPE %
25,25	25,09	0,64
50,60	50,42	0,35
75,44	75,35	0,12
100,2	100,0	0,21
Mean Absolute Percentage Error (MAPE)		0,33

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 6 adalah hasil dari pengujian perbandingan antara nilai daya yang telah di peroleh MPPT berbasis Algoritma modified P&O N4 dengan MPPT berbasis Algoritma P&O konvensional. Algoritma modified P&O N4 menunjukkan kemampuan pelacakan titik daya maksimum yang lebih unggul dibandingkan dengan algoritma P&O konvensional. Hal ini terlihat oleh daya maksimum yang di dapat pada detik ke 24 daya yang didapat 3,56W dan kestabilan daya yang lebih tinggi dan konsisten pada rentang 3,4W hingga mencapai 3,56W selama durasi pengujian dari detik ke-0 hingga detik ke-100. Sebaliknya, algoritma P&O konvensional pada detik ke-10 hingga 30 dimana daya menunjukkan pola naik-turun dalam rentang 3,24W hingga 3,28W selanjutnya, pada detik ke-50 hingga 70, daya mengalami sedikit penurunan hingga mencapai sekitar 3,23W sebelum kembali mengalami kenaikan. Jadi kesimpulanya algoritma modified P&O menghasilkan daya yang lebih tinggi dengan dinamika adaptif, yang mencerminkan keunggulan dalam efisiensi pelacakan titik daya maksimum dibanding algoritma P&O konvensional.



Gambar 7. Grafik Perbandingan Arus MPPT *modified* P&O dengan MPPT P&O

Ditunjukkan pada gambar 7 didapat hasil dari pengujian perbandingan antara nilai arus yang telah di peroleh MPPT berbasis Algoritma *modified* P&O N4 dengan MPPT berbasis Algoritma P&O konvensional. Algoritma *modified* P&O N4 menunjukkan pola arus yang fluktuatif dan adaptif terhadap perubahan kondisi sistem, dengan variasi arus yang terjadi secara berkala sepanjang rentang waktu 0 hingga 100 detik. Teramati beberapa momen signifikan seperti kenaikan arus dari 0,280A menjadi 0,288A pada detik ke 2 hingga ke-3, penurunan menjadi 0,278A pada detik ke-7 hingga ke-9, serta lonjakan arus mencapai 0,289A pada detik ke-12 hingga ke-15. Fluktuasi terus terjadi antara 0,279A hingga 0,291A di antara detik ke-20 hingga ke-55, dan osilasi halus juga tampak antara detik ke-70 hingga ke-90 dalam rentang 0,280A hingga 0,288A. Sementara itu, algoritma P&O konvensional menunjukkan arus yang relatif konstan pada sekitar 0,28 A tanpa fluktuasi berarti sepanjang durasi pengamatan. Hal ini mengindikasikan bahwa algoritma *modified* P&O memiliki kepekaan dan responsivitas yang lebih baik dalam menyesuaikan diri terhadap variasi kondisi seperti perubahan beban atau intensitas iradiasi, dibandingkan pendekatan konvensional yang cenderung statis dan kurang adaptif.

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

P&O		Modif P&O		Detik
Current	Power	Current	Power	
0,28	3,28	0,29	3,49	1
0,28	3,27	0,29	3,46	2
0,28	3,28	0,28	3,45	3
0,28	3,27	0,28	3,44	4
0,28	3,25	0,29	3,47	5
0,28	3,27	0,29	3,46	6
0,28	3,28	0,28	3,44	7
0,28	3,27	0,29	3,46	8
0,28	3,28	0,29	3,46	9
0,28	3,28	0,28	3,42	10

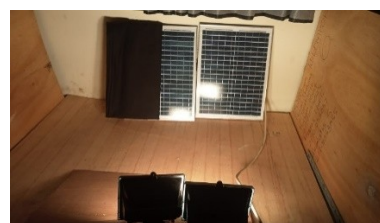
P&O		Modif P&O		Detik
Current	Power	Current	Power	
0,28	3,27	0,28	3,44	11
0,28	3,26	0,29	3,48	12
0,28	3,25	0,28	3,43	13
0,28	3,25	0,29	3,47	14
0,28	3,25	0,28	3,44	15
0,28	3,25	0,29	3,48	16
0,28	3,27	0,28	3,47	17
0,28	3,26	0,28	3,44	18
0,28	3,26	0,28	3,43	19
0,28	3,26	0,28	3,45	20
0,28	3,25	0,28	3,43	21
0,28	3,26	0,29	3,49	22
0,28	3,24	0,29	3,52	23
0,28	3,24	0,29	3,56	24
0,28	3,25	0,29	3,5	25
0,28	3,26	0,29	3,47	26
0,28	3,27	0,28	3,44	27
0,28	3,27	0,28	3,45	28
0,28	3,26	0,28	3,44	29
0,28	3,26	0,28	3,42	30
0,28	3,25	0,29	3,49	31
0,28	3,26	0,29	3,52	32
0,28	3,27	0,28	3,44	33
0,28	3,26	0,28	3,46	34
0,28	3,26	0,28	3,44	35
0,28	3,26	0,28	3,45	36
0,28	3,25	0,28	3,45	37
0,28	3,26	0,28	3,43	38
0,28	3,27	0,28	3,43	39
0,28	3,26	0,29	3,45	40
0,28	3,27	0,28	3,44	41
0,28	3,27	0,29	3,47	42
0,28	3,25	0,28	3,46	43
0,28	3,25	0,29	3,5	44
0,28	3,25	0,29	3,5	45
0,28	3,25	0,29	3,49	46
0,28	3,25	0,29	3,5	47
0,28	3,25	0,28	3,44	48
0,28	3,25	0,28	3,47	49
0,28	3,25	0,29	3,46	50
0,28	3,25	0,28	3,45	51
0,28	3,25	0,28	3,44	52

P&O		Modif P&O		Detik
Current	Power	Current	Power	
0,28	3,25	0,28	3,46	53
0,28	3,25	0,28	3,44	54
0,28	3,25	0,29	3,48	55
0,28	3,26	0,28	3,44	56
0,28	3,25	0,28	3,42	57
0,28	3,25	0,29	3,51	58
0,28	3,25	0,29	3,52	59
0,28	3,25	0,28	3,5	60
0,28	3,25	0,29	3,5	61
0,28	3,25	0,29	3,52	62
0,28	3,25	0,28	3,43	63
0,28	3,25	0,29	3,45	64
0,28	3,25	0,28	3,44	65
0,28	3,25	0,28	3,49	66
0,28	3,25	0,29	3,47	67
0,28	3,25	0,29	3,48	68
0,28	3,25	0,28	3,47	69
0,28	3,25	0,29	3,51	70
0,28	3,25	0,29	3,44	71
0,28	3,25	0,28	3,39	72
0,28	3,25	0,28	3,45	73
0,28	3,25	0,28	3,44	74
0,28	3,25	0,28	3,43	75
0,28	3,25	0,28	3,41	76
0,28	3,25	0,28	3,41	77
0,28	3,25	0,28	3,45	78
0,28	3,25	0,28	3,41	79
0,28	3,25	0,28	3,43	80
0,28	3,26	0,29	3,5	81
0,28	3,25	0,28	3,42	82
0,28	3,26	0,28	3,41	83
0,28	3,27	0,28	3,45	84
0,28	3,28	0,28	3,48	85
0,28	3,27	0,28	3,45	86
0,28	3,27	0,29	3,48	87
0,28	3,27	0,29	3,49	88
0,28	3,27	0,28	3,39	89
0,28	3,27	0,28	3,41	90
0,28	3,26	0,28	3,44	91
0,28	3,27	0,29	3,45	92
0,28	3,27	0,28	3,45	93
0,28	3,28	0,29	3,5	94

P&O		Modif P&O		Detik
Current	Power	Current	Power	
0,28	3,28	0,28	3,47	95
0,28	3,28	0,28	3,47	96
0,28	3,28	0,29	3,53	97
0,28	3,28	0,29	3,47	98
0,28	3,27	0,29	3,5	99
0,28	3,27	0,29	3,49	100

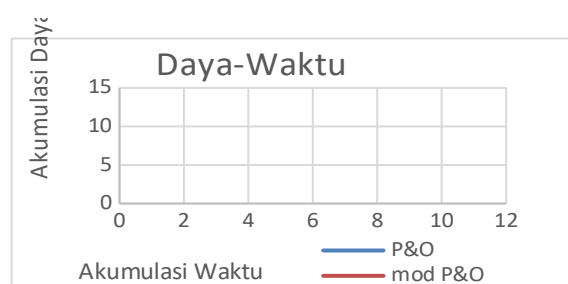
Terlihat pada Tabel 6. Ini adalah data yang telah diambil dari hasil pengujian MPPT berbasis algoritma *modified* P&O dan algoritma P&O.

Pada pengujian kedua, data diambil selama 100 detik dengan kondisi modul mengalami shading atau terhalang sebagian, berbeda dari pengujian pertama.



Gambar 8. Dua Modul *Photovoltaic* Dan dua Lampu Halogen Dengan Sistem *Shading*

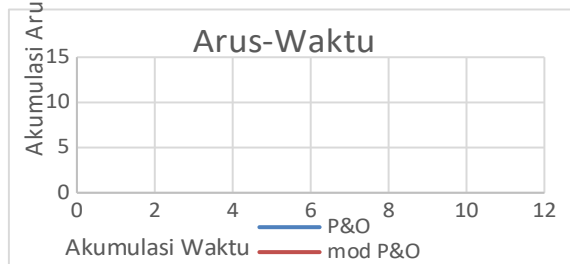
Pengujian algoritma *modified* P&O pada kondisi *shading* dilakukan untuk membandingkan performanya dengan algoritma P&O konvensional kondisi *shading*. Dua lampu halogen digunakan sebagai sumber pencahayaan dan dua modul fotovoltaik diuji, dengan kertas sebagai penghalang untuk mensimulasikan perubahan radiasi yang cepat.



Gambar 9. Grafik Sistem *Shading* Perbandingan Daya MPPT *Modif* P&O dan MPPT P&O

Terlihat dalam Gambar 8 adalah grafik perbandingan daya pada sistem *shading* algoritma P&O konvensional dengan sistem *shading*, algoritma modifikasi P&O, dengan nilai N5. Dimana algoritma *modified* Perturb and Observe (P&O) menunjukkan kinerja yang lebih optimal dibandingkan algoritma P&O konvensional, nilai daya keluaran pada *modified* P&O berada dalam rentang 1,35W hingga 1,42W,

dengan fluktuasi ringan yang terdeteksi antara detik ke-10 hingga ke-40, dimana daya mengalami perubahan kecil antara 1,37W hingga 1,41W. Setelah periode tersebut, dari detik ke-40 hingga detik ke-100, daya relatif stabil di sekitar 1,4W. Nilai daya tertinggi yang tercatat pada algoritma ini adalah sebesar 1,42W, yang terjadi pada detik ke-38. Sementara itu, algoritma P&O konvensional menghasilkan daya yang lebih rendah dan cenderung konstan, berada di kisaran 1,20W hingga 1,25W sepanjang durasi pengujian, tanpa menunjukkan fluktuasi yang signifikan. Hasil ini menunjukkan bahwa algoritma *modified* P&O mampu memberikan efisiensi pelacakan titik daya maksimum yang lebih baik dengan stabilitas daya yang lebih tinggi.



Gambar 10. Grafik Sistem *Shading* Perbandingan Arus MPPT *Modif* P&O dan MPPT P&O

Ditunjukkan pada gambar 10 adalah grafik perbandingan arus pada sistem shading algoritma P&O konvensional dengan sistem shading dengan nilai N5. Dimana algoritma modifikasi P&O N5 menunjukkan performa arus yang lebih tinggi dan stabil dibandingkan dengan algoritma P&O konvensional. Nilai arus pada modified P&O N5 berada dalam rentang 1,25A hingga 1,35A, dengan fluktuasi ringan yang terjadi antara detik ke-10 hingga detik ke-40. Setelah detik ke-40 hingga detik ke-100, arus cenderung stabil di sekitar 1,3A. Arus tertinggi yang terlihat sebesar 1,35A terjadi pada sekitar detik ke-36. Sebaliknya, algoritma P&O konvensional menunjukkan nilai arus yang tetap dan rendah, yaitu sekitar 0,3A tanpa adanya fluktuasi sepanjang waktu pengamatan. Hasil ini menunjukkan bahwa algoritma modified P&O lebih adaptif dalam perubahan beban dan kestabilan.

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

P&O		Modif P&O		Det k
Curren t	Powe r	Curren t	Power	
0,15	1	0,16	1,29	1
0,15	1	0,16	1,28	2
0,15	1	0,16	1,24	3
0,15	1	0,16	1,26	4

P&O		Modif P&O		Det k
Curren t	Powe r	Curren t	Power	
0,15	0,99	0,16	1,25	5
0,15	0,99	0,16	1,24	6
0,15	1	0,16	1,26	7
0,15	0,99	0,16	1,24	8
0,15	0,99	0,17	1,31	9
0,15	0,99	0,16	1,2	10
0,15	0,99	0,15	1,18	11
0,15	0,99	0,15	1,21	12
0,15	0,99	0,16	1,23	13
0,15	1	0,15	1,22	14
0,15	1	0,16	1,29	15
0,15	0,99	0,16	1,26	16
0,15	1	0,16	1,26	17
0,15	1	0,16	1,27	18
0,15	1	0,16	1,26	19
0,15	1	0,16	1,26	20
0,15	1	0,16	1,29	21
0,15	1	0,16	1,24	22
0,15	1	0,16	1,27	23
0,15	1,01	0,16	1,26	24
0,15	1,01	0,16	1,29	25
0,15	1,01	0,16	1,27	26
0,15	1,01	0,16	1,27	27
0,15	1	0,16	1,26	28
0,15	1	0,16	1,29	29
0,15	1,01	0,16	1,27	30
0,15	0,99	0,16	1,25	31
0,15	0,99	0,16	1,23	32
0,15	0,99	0,16	1,28	33
0,15	0,99	0,16	1,28	34
0,15	1	0,16	1,27	35
0,15	0,99	0,16	1,27	36
0,15	0,99	0,16	1,26	37
0,15	0,99	0,16	1,29	38
0,15	1	0,16	1,26	39
0,15	0,99	0,16	1,25	40
0,15	0,99	0,16	1,26	41
0,15	0,99	0,16	1,25	42
0,15	0,99	0,16	1,28	43
0,15	0,99	0,17	1,32	44
0,15	0,99	0,16	1,27	45
0,15	0,99	0,16	1,26	46

P&O		Modif P&O		Det k
Current t	Power r	Current t	Power	
0,15	0,99	0,16	1,3	47
0,15	0,99	0,15	1,23	48
0,15	0,99	0,16	1,23	49
0,15	0,99	0,16	1,26	50
0,15	0,99	0,16	1,28	51
0,15	1	0,16	1,23	52
0,15	1	0,16	1,25	53
0,15	1	0,16	1,26	54
0,15	0,99	0,16	1,25	55
0,15	1	0,16	1,24	56
0,15	0,99	0,16	1,27	57
0,15	0,99	0,16	1,28	58
0,15	0,99	0,16	1,31	59
0,15	0,99	0,16	1,24	60
0,15	0,99	0,16	1,26	61
0,15	0,99	0,16	1,25	62
0,15	1	0,16	1,27	63
0,15	0,99	0,16	1,28	64
0,15	0,99	0,16	1,3	65
0,15	1	0,17	1,33	66
0,15	1,02	0,16	1,28	67
0,15	1	0,16	1,23	68
0,15	0,99	0,16	1,27	69
0,15	1	0,16	1,26	70
0,15	1,01	0,16	1,3	71
0,15	1	0,16	1,27	72
0,15	1,01	0,16	1,25	73
0,15	1	0,16	1,26	74
0,15	1,01	0,16	1,28	75
0,15	1,01	0,16	1,28	76
0,15	1,01	0,16	1,28	77
0,15	1,01	0,16	1,28	78
0,15	1,02	0,16	1,26	79
0,15	1,01	0,16	1,29	80
0,15	1,01	0,16	1,26	81
0,15	1,01	0,16	1,27	82
0,15	1,01	0,16	1,27	83
0,15	1,01	0,16	1,23	84
0,15	1,01	0,16	1,3	85
0,15	1,01	0,16	1,28	86
0,15	1,01	0,16	1,27	87

P&O		Modif P&O		Det k
Current t	Power r	Current t	Power	
0,15	1,01	0,16	1,26	88
0,15	1,01	0,16	1,26	89
0,15	1,02	0,16	1,27	90
0,15	1,01	0,16	1,26	91
0,15	1,01	0,16	1,27	92
0,15	1,01	0,16	1,26	93
0,15	1,01	0,16	1,26	94
0,15	1,01	0,16	1,27	95
0,15	1,01	0,16	1,27	96
0,15	1,02	0,16	1,27	97
0,15	1,02	0,16	1,29	98
0,15	1,02	0,16	1,24	99
0,15	1,02	0,16	1,24	100

Terlihat Tabel 7 menyajikan data hasil pengujian algoritma MPPT berbasis *modified* P&O dan P&O konvensional pada kondisi *shading*.

IV. KESIMPULAN

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

1. Penelitian ini mengembangkan sistem MPPT berbasis algoritma *modified* P&O yang diimplementasikan pada mikrokontroler Arduino UNO untuk mengatur *duty cycle* pada rangkaian *Boost converter*. Tujuannya adalah mengoptimalkan daya keluaran modul fotovoltaik agar mencapai titik daya maksimum (MPP) secara efisien. Perancangan mencakup sistem elektronik berupa sensor tegangan, sensor arus ACS712, dan *Boost converter*, serta analisis dan perhitungan komponen untuk menjaga kestabilan dan efisiensi sistem.
2. Pengujian menunjukkan bahwa penerapan algoritma *modified Perturb and Observe* (P&O) pada sistem MPPT mampu meningkatkan efektivitas dalam melacak titik daya maksimum (MPP) dibandingkan dengan algoritma P&O konvensional. Dengan modul tanpa halangan modifikasi P&O nilai N4 daya maksimum 3,56W di detik 24 sedangkan P&O konvensional daya maksimum 3,24W di detik 70 jadi modifikasi P&O N4 lebih bagus dalam mencari daya maksimum karena konstanta tuning atau respon sistem lebih lambat, membuat kestabil dalam mengatur *duty cycle*. Sedangkan pada sistem *shading* modifikasi P&O N5 1,42W detik ke 38 dan P&O

konvensional 1,1W detik ke 95 Pada sistem shading algoritma modifikasi P&O N5 menunjukan daya maksimum tertinggi dikarenakan konstanta tuning atau respon sistem lebih cepat juga membuat kerja duty cycle lebih cepat.

Hasil validasi menunjukkan bahwa algoritma *modified* P&O mampu mencapai tingkat stabilitas yang tinggi melalui pendekatan adaptif dalam pengaturan *duty cycle*. Pendekatan ini memungkinkan sistem untuk mempertahankan *output* daya maksimum meskipun terjadi gangguan eksternal, seperti penurunan intensitas cahaya atau perubahan beban. Keunggulan ini menjadikan algoritma tersebut sebagai solusi yang efektif untuk optimalisasi konversi energi terbarukan, khususnya dalam aplikasi yang menuntut kestabilan daya dari sumber energi yang bersifat fluktuatif, seperti sistem fotovoltaik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] 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.
- [2] F. Maulana, K. Politeknik, and N. Jakarta, "Maximum Power Point Tracking (MPPT) Berbasis Algoritma Human Psychology Optimization (Hpo) untuk Optimalisasi Daya Output Panel Surya pada Kondisi Partial Shading," 2023, doi: 10.31284/p.snestik.2023.4034.
- [3] A. Chellakhi, S. El Beid, and Y. Abouelmahjoub, "Implementation of a Novel MPPT Tactic for PV System Applications on MATLAB/Simulink and Proteus-Based Arduino Board Environments," *International Journal of Photoenergy*, vol. 2021, 2021, doi: 10.1155/2021/6657627.
- [4] M. Asdhiyoga Rahmanta *et al.*, "Analisis Perkembangan Teknologi Modul Photovoltaic (PV) Untuk Meningkatkan Penetrasi Pusat Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Indonesia," 2023.
- [5] B. P. Ananda, F. M. Faqih, M. F. Alkindi, F. S. Pribadi, and R. A. Aprilianto, "Tren Algoritma InC, PID dan FLC untuk MPPT Pada Sistem Fotovoltaik: Sistematis Review," *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 5, no. 2, pp. 78–89, Jul. 2024, doi: 10.14710/jebt.2024.23089.
- [6] 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.
- A. N. Chemenk and A. Huda, "DESAIN SIMULASI MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT) MENGGUNAKAN METODE INCREMENTAL CONDUCTANCE (IC) PADA KONVERTER SEPIC (SINGLE ENDED PRIMARY INDUCTANCE CONVERTER)," 2023.
- C. Zeng, B. Yang, P. Cao, Q. Li, J. Deng, and S. Tian, "Current Status, Challenges, and Trends of Maximum Power Point Tracking for PV Systems," *Front Energy Res*, vol. 10, Apr. 2022, doi: 10.3389/fenrg.2022.901035.
- E. Elanda Zahra, D. Dewatama, and Y. Yulianto, "Zeta Converter dengan MPPT P&O untuk Mendapatkan Daya Optimal Akibat Perubahan Arus dan Tegangan," *Jurnal Elektronika dan Otomasi Industri*, vol. 10, no. 1, pp. 9–17, May 2023, doi: 10.33795/elkolind.v10i1.2744.
- A. K. Dewi, Dyah Lestari, and Muhammad Afnan Habibi, "Desain dan Analisis PID Controller Menggunakan Metode Genetic Algorithm pada Boost Converter Tipe CCM," *Emitor: Jurnal Teknik Elektro*, pp. 50–56, Apr. 2024, doi: 10.23917/emitor.v24i1.2817.
- A. R. B. M. B. A. pratama Zanofa Arief, "PINTU GERBANG OTOMATIS BERBASIS MIKROKONTROLER ARDUINO UNO R3," 2020.
- Evi Nafiatu Sholikhah, "Desain Implementasi Maximum Power Point Tracking Berbasis Perturb and Observe untuk Optimalisasi Daya Panel Surya," *Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro dan Informatika*, vol. 4, no. 1, pp. 201–209, Feb. 2025, doi: 10.55606/jtmei.v4i1.4810.
- M. Yasim Akbar and R. Yasser, "OPTIMALISASI DESAIN PLTS ATAP OFFGRID MENGGUNAKAN MPPT MODIFIKASI P&O PADA GEDUNG PT. HYDRATECH SMART INDONESIA," *Action Research Literate*, vol. 8, no. 6, 2024, [Online]. Available: <https://arl.ridwaninstitute.co.id/index.php/arl>
- A. Kesuma Dhani, E. S. Wirateruna, and F. Badri, "PERANCANGAN SISTEM MPPT BERBASIS ALGORITMA MODIFIED P&O DENGAN ARDUINO MENGGUNAKAN KONVERTER DC-DC PADA PHOTOVOLTAIC," Nov. 2025.
- 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/tektonik.