

IMPLEMENTASI MPPTPV BERBASIS IMPROVED ALGORITMA IC DENGAN TEKNOLOGI KONVERTER SEBAGAI ENERGI ALTERNATIF BUDIDAYA HIDROPONIK

Muhammad Rafli Hidayat¹, Efendi S Wirateruna²Bambang Minto B³

^{1,2,3} Universitas Islam Malang

JL.. MT. HARYONO 193 MALANG

raflihidayat69@gmail.com, efendi.s.wirateruna@unisma.ac.id, bambang.minto@unisma.ac.id

Abstract

Solar energy is one of the most promising renewable energy sources for generating electricity through photovoltaic (PV) panels. This study aims to implement a Maximum Power Point Tracking (MPPT) system on a PV panel using the Improved Incremental Conductance (IC) algorithm integrated with a DC-DC converter. The Improved IC method is selected due to its faster and more accurate response in tracking the maximum power point, particularly under fluctuating solar irradiance conditions. The DC-DC converter regulates the PV output voltage to match the requirements of the load, which in this study is an automatic hydroponic system consisting of a water pump, nutrient sensors, and a microcontroller. Performance testing was conducted by comparing the MPPT system using the Improved IC algorithm with a non-MPPT system. The results show that the MPPT implementation increases power absorption efficiency by 25–30% compared to the conventional system and provides a more stable power supply.

Keywords— MPPT, Solar panel, Incremental Conductance, Converter DC-DC, Renewable Energy

Abstraksi

Energi matahari merupakan salah satu sumber energi baru terbarukan yang berpotensi besar untuk dikonversi menjadi energi listrik melalui penggunaan panel surya. Penelitian ini bertujuan mengimplementasikan sistem Maximum Power Point Tracking (MPPT) pada panel surya menggunakan algoritma Improved Incremental Conductance (IC) yang diintegrasikan dengan konverter DC-DC. Algoritma Improved IC dipilih karena mampu memberikan respons yang lebih cepat dan akurat dalam melacak titik daya maksimum, terutama pada kondisi iradiasi yang berfluktuasi. Konverter digunakan untuk mengatur tegangan keluaran panel surya agar sesuai dengan kebutuhan beban, yaitu sistem hidroponik otomatis yang terdiri dari pompa air, sensor nutrisi, dan mikrokontroler. Pengujian dilakukan dengan membandingkan performa sistem MPPT berbasis Improved IC dengan sistem tanpa MPPT. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan MPPT mampu meningkatkan efisiensi penyerapan daya sebesar 25–30% dibandingkan sistem konvensional serta menghasilkan suplai daya yang lebih stabil.

Kata Kunci— MPPT, Panel Surya, Incremental Conductance, Konverter DC-DC, Energi Terbarukan

I. PENDAHULUAN

Energi matahari merupakan sumber energi baru terbarukan yang sangat potensial untuk menyediakan tenaga listrik melalui penggunaan panel surya[1]. Meskipun demikian, dalam proses pembangkitan listrik menggunakan panel surya, terdapat beberapa kelemahan[2] yang perlu diatasi, salah satunya adalah efisiensi konversi energi yang masih rendah, berkisar antara 8% hingga 18%. Efisiensi panel surya ini dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti suhu, tingkat insolasi, karakteristik spektral sinar matahari, tingkat kekotoran permukaan panel, dan kemungkinan adanya bayangan[3]

Untuk mengatasi masalah efisiensi konversi energi yang rendah tersebut, [4]digunakanlah teknologi Maximum Power Point Tracking (MPPT).[5] MPPT adalah sebuah rangkaian dari devais elektronik yang dapat mengubah-ubah titik operasi pada

panel surya, sehingga dapat diperoleh daya keluaran yang optimal.[6] Sistem MPPT ini membandingkan daya keluaran panel surya dengan daya keluaran tanpa menggunakan MPPT, dengan parameter utama yang menjadi acuan adalah nilai tegangan dan arus masukan dari panel surya setelah digabungkan dengan sistem MPPT[2]

Untuk mencapai tegangan keluaran konverter yang optimal dalam sistem MPPT, algoritma Incremental Conductance (IncCod) dipilih sebagai metode pengaturannya.[7] Algoritma ini bekerja berdasar kurva karakteristik daya versus tegangan pada photovoltaic (kurva P-V), dan merupakan pengembangan dari algoritma P&O. Pada titik MPP (Maximum Power Point), perubahan daya per perubahan tegangan adalah nol.[8] Boost konverter digunakan dalam sistem ini untuk menyalurkan daya ke beban dan mengatur tegangan keluaran dari panel surya agar tetap berada pada titik MPP. Sebagai pusat

pengontrolan, mikrokontroler berperan dalam mengendalikan keseluruhan sistem ini[9]

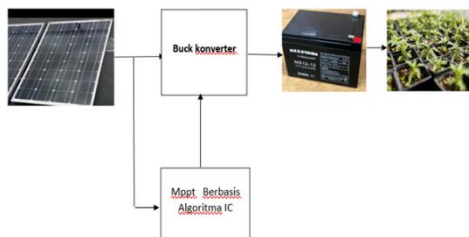
Dengan adanya sistem MPPT dan penggunaan algoritma IC, diharapkan efisiensi konversi energi pada panel surya dapat ditingkatkan, sehingga dapat lebih efektif dalam menyediakan tenaga listrik dari sumber energi matahari yang berlimpah.[10] Hal ini menjadi langkah penting dalam mengoptimalkan pemanfaatan energi terbarukan dan berkelanjutan untuk kebutuhan listrik masa depan[11].

batrai menyimpan energi listrik buat menyuplai beban hidroponik dan batrai yang digunakan menggunakan kapasitas 12v/12ah. [16].

Sebagai pusat pengendalian sistem, digunakan mikrokontroler Arduino Uno yang memiliki fleksibilitas tinggi dan kemudahan dalam pemrograman,[17]. sehingga sangat sesuai untuk sistem otomatisasi energi terbarukan berskala kecil hingga menengah.[18] Dalam konteks ini, sistem dirancang untuk diaplikasikan pada budidaya hidroponik, yang juga merupakan solusi pertanian modern dan berkelanjutan. [19]Sistem hidroponik membutuhkan suplai energi listrik yang stabil dan efisien untuk mengoperasikan pompa, sistem aerasi, dan kontrol lingkungan[20].

II. METODE PENELITIAN

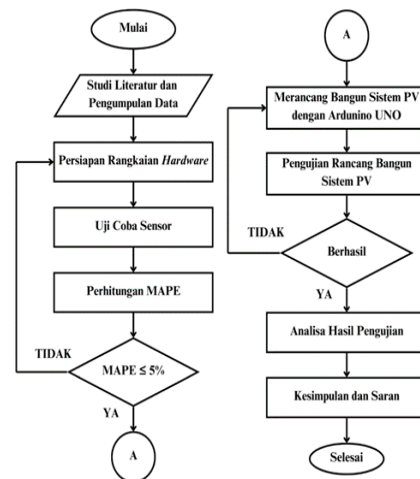
A. BLOK DIAGRAM ALUR



Gambar. 1. Blok Diagram Alir

Pada Gambar.1 Diagram ini menggambarkan sistem PV dengan kontrol MPPT berbasis Incremental Conductance untuk mengoptimalkan daya yang masuk ke baterai melalui konverter buck, dan digunakan untuk aplikasi pertanian. Ini merupakan sistem energi terbarukan yang efisien dan ramah lingkungan.

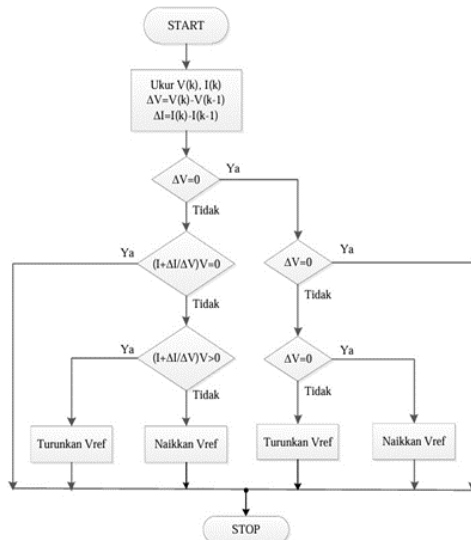
B. DIAGRAM ALIR



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

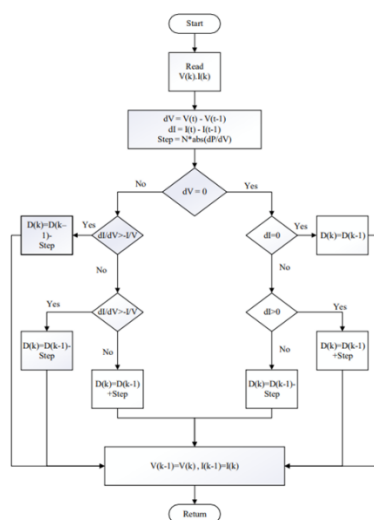
Pada bagian ini, langkah-langkah penelitian yang akan dilakukan seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2**, menunjukkan penelitian ini dimulai dari studi literatur baik dari buku, paper maupun dari jurnal hasil penelitian sebelumnya. Langkah selanjutnya yakni mengumpulkan data-data dari penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan penelitian ini. Kemudian mempersiapkan alat dan bahan, selanjutnya melakukan uji coba sensor dan menghitung mean absolute percentage error (MAPE). Apabila MAPE diperoleh $\leq 5\%$, dengan menggunakan Persamaan (2.7), maka penelitian dilanjutkan dengan merancang.

C. Flowcart Algoritma IC (Icremental Condutance)



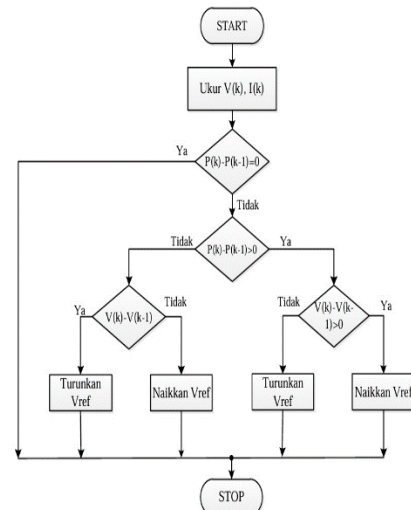
Gambar 3. Flowcart Algoritma IC (Incremental Condutance)

Titik daya maksimum (Maximum Power Point / MPP) adalah kondisi optimal pada panel surya di mana kombinasi antara arus (I) dan tegangan (V) menghasilkan daya ($P = V \times I$) tertinggi. Karakteristik arus-tegangan (I - V) panel surya bersifat nonlinier dan berubah tergantung intensitas cahaya serta suhu lingkungan, sehingga posisi MPP juga tidak tetap. Gambar 3.



Gambar 4. Algoritma Modified Incremental Condutance

Pada Gambar 4 adalah flowchart algoritma yang dimodifikasi Incremental Conductance (IC) untuk Maximum Power Point Tracking (MPPT) pada sistem seperti panel surya yang menggunakan buck converter.



Gambar 5. Algoritma P&O

algoritma P&O bekerja berdasarkan pengamatan terhadap perubahan daya output panel surya ($P = V \times I$). Algoritma ini mencoba "mengganggu" (perturb) tegangan sistem, lalu mengamati apakah perubahan tersebut meningkatkan atau menurunkan daya: dapat dilihat pada **Gambar 5**

Tabel1. Sepesifikasi Foltafoltaik

Foltafoltaik sebagai sebagai pembangkit untuk Menyalurkan tegangan pada beban yang akan Digunakan Sepesifikasi pada Pholtafoltaik Pada Gambar Panel surya tipe SM100-18P memiliki daya puncak sebesar 100 W dengan efisiensi sel 16,93%. Tegangan maksimum pada titik daya (V_{mp}) adalah 17,8 V dengan arus maksimum pada titik daya (I_{mp}) sebesar 5,62 A. Tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}) mencapai 21,8 V dan arus hubung singkat (I_{sc}) sebesar 6,05 A, dengan toleransi daya $\pm 3\%$. Panel ini memiliki tegangan sistem maksimum 1000 V DC, rating sekering seri 12 A, dan dilengkapi 2 dioda bypass untuk mencegah kerugian daya akibat shading parsial. Rentang suhu operasi panel ini adalah -4°C hingga 85°C . Spesifikasi ini berlaku pada kondisi pengujian standar (STC) yaitu iradiasi 1000 W/m^2 dan suhu modul 25°C , sehingga menunjukkan bahwa panel ini dirancang untuk memberikan kinerja optimal

Tabel1 . Sepesifikasi Foltafoltaik

Model	SM100-18p
Peak power	100w
Cell efficiency	16.93%
power volt (vmp) Max.	17.8V
Power current (Imp) Max	5.62A
Open circuit volt. (Voc)	21.8V
Short circuit volt. (Isc)	6.05A
Power Tolerance	$\pm 3\%$
Max. system voltage	1000v
Series fuse ranting (A)	12
Nummber of bypass diode	2
Operating temperature	-4°C to $+85^\circ\text{C}$
Maximum system voltage	1000V DC
STC= irradiance 1000w, Module temperature 25°C	

Panel surya tipe SM100-18P memiliki daya puncak sebesar 100 W dengan efisiensi sel 16,93%. Tegangan maksimum pada titik daya (V_{mp}) adalah 17,8 V dengan arus maksimum pada titik daya (I_{mp}) sebesar 5,62 A. Tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}) mencapai 21,8 V dan arus hubung singkat (I_{sc}) sebesar 6,05 A, dengan toleransi daya $\pm 3\%$. Panel ini memiliki tegangan sistem maksimum 1000 V DC, rating sekering seri 12 A, dan dilengkapi 2 dioda bypass untuk mencegah kerugian daya akibat shading parsial. Rentang suhu operasi panel ini adalah -4°C hingga 85°C . Spesifikasi ini berlaku pada kondisi pengujian standar (STC) yaitu iradiasi 1000 W/m^2 dan suhu modul 25°C , sehingga menunjukkan bahwa panel ini dirancang untuk memberikan kinerja optimal **Gambar 6**.

Buck Konverter

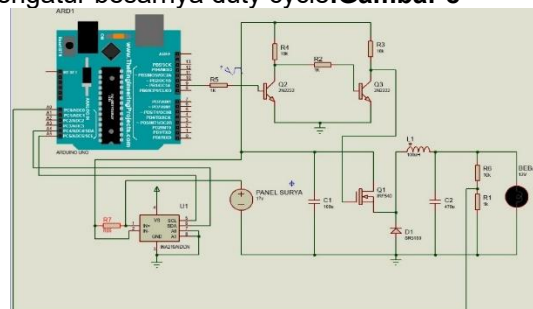
Pada **Tabel. 2.** tersebut menunjukkan spesifikasi kerja rangkaian Buck konverter yang digunakan pada sistem. Tegangan masukan sebesar 17,8 V berasal dari panel surya, yang kemudian diturunkan menjadi tegangan keluaran 12 V untuk beban. Rangkaian ini beroperasi pada frekuensi pensaklaran 20 kHz dengan duty cycle yang dapat diatur antara 50% hingga 80% untuk mengoptimalkan kinerja. Ripple tegangan yang sangat kecil, yaitu hanya 2 mV, menunjukkan kestabilan keluaran konverter, sedangkan arus yang mampu dialirkan adalah 6 A. Spesifikasi ini mencerminkan bahwa konverter dirancang untuk efisiensi tinggi dan kestabilan daya pada sistem MPPT yang digunakan.

Tabel 2. Buck Konverter	
Parameter	Nilai
Input	17.8V
Output	12V
Frekuensi	20khz
Duty cycle	50-80%
Ripple tegangan	2 mV
Arus	6A

Pengujian Rangkaian keseluruhan DC-DC

Rangkaian Pengujian DC-DC (Buck Konverter) Dalam melakukan pengujian rangkaian keseluruhan DC-DC Converter (Buck Converter) ini menggunakan beberapa beban, Hidroponik motor 12V untuk mengetahui karakteristik atau kemampuan alat yang telah dirancang, skematik

rangkain pengujian rangkaian keseluruhan DC-DC Converter (Buck Converter), DC tipe Buck menggunakan komponen switching untuk mengatur besarnya duty cycle. **Gambar 8**



Gambar 8. Rangkaian keseluruhan DC-DC



Gambar9. Rangkaian Hardware

Rangkaian Keseluruhan Rangkaian pada gambar merupakan sistem MPPT (Maximum Power Point Tracking) berbasis mikrokontroler Arduino yang berfungsi untuk mengoptimalkan daya dari panel surya menggunakan konverter buck. Panel surya menghasilkan tegangan dan arus DC yang diukur oleh sensor, kemudian.

data tersebut dikirim ke Arduino untuk dianalisis menggunakan algoritma MPPT seperti Perturb and Observe (P&O), Incremental Conductance (IC), atau versi Modified IC. Arduino kemudian mengatur sinyal PWM untuk mengontrol konverter buck agar tegangan output ke beban lebih rendah namun optimal sesuai titik daya maksimum. Konverter ini ditandai dengan adanya komponen induktor besar, dan dilengkapi heatsink sebagai pendingin untuk mengatasi panas akibat switching. Sistem ini juga dilengkapi dengan modul display untuk menampilkan informasi seperti tegangan, arus, dan daya secara real time, serta dikemas dalam box tertutup untuk melindungi komponennya.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pengujian Sensor Tegangan

bertujuan untuk memastikan bahwa sistem mampu membaca parameter listrik dari panel surya secara akurat, yaitu tegangan (V) dan arus (I) yang dibutuhkan untuk perhitungan daya ($P = V \times I$). Pada sistem ini digunakan sensor INA219, yang mampu mengukur tegangan dan arus secara langsung serta mengkomunikasikannya ke mikrokontroler Arduino melalui protokol I2C. Langkah pertama dalam pengujian adalah menghubungkan sensor INA219 ke panel surya dan Arduino. Tegangan output panel surya diukur pada kondisi iradiasi tertentu (misalnya saat pagi, siang, dan sore), dan hasilnya dibandingkan dengan multimeter digital untuk validasi akurasi. Sensor juga diuji dalam kondisi beban terhubung, untuk melihat bagaimana sensor merespons perubahan arus dan tegangan ketika konverter buck aktif. Perangkat keras ini merupakan hal yang penting untuk terbentuknya suatu sistem.

Pada **Tabel. 3** tersebut menampilkan hasil pengujian akurasi sensor INA219 dibandingkan dengan multimeter sebagai alat ukur acuan. Pada tiga kali pengukuran, tegangan yang terbaca oleh sensor INA219 memiliki selisih sangat kecil dibandingkan multimeter, dengan nilai Mean Absolute Percentage Error (MAPE) untuk tegangan hanya sekitar 0,23–0,29%. Demikian pula, pengukuran arus menunjukkan perbedaan kecil dengan MAPE sekitar 4,55–4,68%. Nilai MAPE yang rendah ini menunjukkan bahwa sensor INA219 memiliki tingkat akurasi yang baik dalam membaca tegangan dan arus, sehingga layak digunakan untuk pemantauan pada sistem MPPT.

Tabel. 3 Hasil pembacaan Sensor Tegangan

No	Sensor Ina219		Multimeter		Mape (%)	
	Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan	Arus
1	22.05	0.23	22.10	0.22	0.23	4.55
2	17.20	1.22	17.25	1.28	0.29	4.68
3	13.04	0.23	13.07	0.22	0.23	4.55

Data Pengujian Mencakup Pembacaan Nilai

- Tegangan input (V_{in}) dari panel surya
- Arus input (I_{in}) ke konverter
- Tegangan output (V_{out}) dari converter
- Arus output (I_{out}) ke beban

Nilai-nilai ini digunakan untuk menghitung daya input dan output, serta mengevaluasi efisiensi sistem konversi. Selain itu, sensor INA219 juga dievaluasi kestabilannya melalui pencatatan data berkala selama sistem MPPT berjalan. Hasil menunjukkan bahwa pembacaan sensor memiliki selisih <5% dibandingkan pengukuran multimeter, sehingga dianggap layak digunakan untuk sistem MPPT ini.

Pada **Tabel.4** Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja konverter dengan mengambil data dari tegangan dan arus input panel surya (V_{in} dan I_{in}), serta tegangan dan arus output dari konverter (V_{out} dan I_{out}). Tujuan dari pengujian ini adalah untuk membuktikan bahwa daya output dari konverter lebih rendah dari daya input panel surya, dan bahwa tegangan output berada di bawah tegangan input jika menggunakan konverter tipe buck.

2. Pengujian Buck Konverter

Tabel .4 Pengujian Buck Konverter

No	V_{in} (V)	I_{in} (A)	Daya (W)	Duty (%)	V_{out} (V)
	I_{out} (A)	Daya (W)	Efisiensi (%)		
1	17.22	0.27	4.62	80	14.3
	0.27	3.86	83.01		
2	17.14	0.26	4.53	80	14.4
	0.26	3.74	83.87		
3	17.23	0.27	4.6	80	14.4
	0.27	3.88	83.66		
4	17.06	0.27	4.57	80	14.05
	0.27	3.79	82.21		

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja konverter dengan mengambil data dari tegangan dan arus input panel surya (V_{in} dan I_{in}), serta tegangan dan arus output dari konverter

(V_{out} dan I_{out}). Tujuan dari pengujian ini adalah untuk membuktikan bahwa daya output dari konverter lebih rendah dari daya input panel surya, dan bahwa tegangan output berada di bawah tegangan input jika menggunakan konverter tipe buck.

Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh bahwa daya input dari panel surya berada pada rentang 4,46 W hingga 4,65 W, sedangkan daya output yang dihasilkan konverter berkisar antara 3,74 W hingga 3,89 W. Hal ini membuktikan bahwa terdapat selisih daya akibat rugi-rugi konversi dan secara konsisten daya output lebih rendah dibandingkan daya input, sebagaimana hipotesis awal.

Efisiensi konversi daya dihitung berdasarkan perbandingan antara daya output dan daya input, yang menghasilkan nilai efisiensi antara 82,2% hingga 83,9%. Nilai ini menunjukkan bahwa konverter bekerja dengan efisiensi yang cukup baik dalam mentransfer daya dari panel surya ke beban.

Selain itu, dilihat dari sisi tegangan, nilai V_{out} berkisar antara 14,05 V hingga 14,4 V, sedangkan V_{in} berada pada rentang 17,06 V hingga 17,23 V. Dengan demikian, tegangan output memang lebih rendah dari tegangan input, yang menunjukkan bahwa konverter bekerja dalam mode penurunan tegangan (buck mode). Hal ini juga didukung oleh duty cycle yang digunakan

3. Pengujian Mppt PV Dengan Tiga Algoritma

Pengujian ini bertujuan untuk membandingkan performa tiga algoritma MPPT, yaitu:

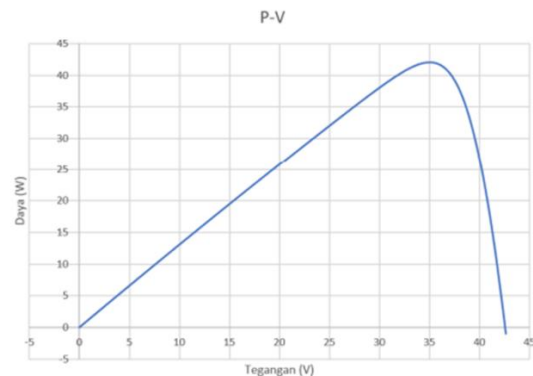
- A. Algoritma Modifikasi Incremental Conductance (Improved IC)
- B. Incremental Conductance (IC) Konvensional
- C. Perturb and Observe (P&O)

Dalam menyesuaikan titik kerja panel surya agar selalu berada pada titik daya maksimum (Maximum Power Point, MPP).

4. Langkah pengujian

Langkah pengujian dilakukan dengan memberikan pencahayaan alami pada panel surya, kemudian setiap algoritma MPPT seperti P&O, IC, dan Improved IC dijalankan secara bergantian dalam kondisi beban yang sama untuk memastikan perbandingan yang adil. Selama pengujian, data tegangan (V), arus (I), dan daya (P) dicatat setiap 5 detik dalam rentang waktu sekitar 2 hingga 3 menit. Parameter yang dibandingkan meliputi waktu konvergen menuju titik daya maksimum (MPP) atau respons sistem, stabilitas daya selama proses pelacakan, serta

efisiensi rata-rata daya keluaran yang dihasilkan oleh masing-masing algoritma.



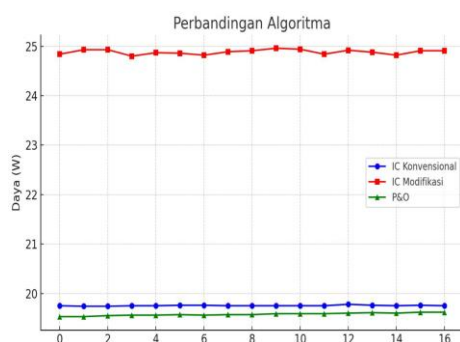
Gambar.12 Kurva Karakteristik (PV)

Pada Gambar.12 Kurva karakteristik P–V (daya vs tegangan) pada gambar menunjukkan hubungan antara daya keluaran panel surya dengan tegangan keluarannya. Terlihat bahwa daya meningkat seiring bertambahnya tegangan hingga mencapai titik maksimum, yang dikenal sebagai Maximum Power Point (MPP). Setelah melewati titik ini, daya mulai menurun meskipun tegangan terus meningkat, menandakan bahwa efisiensi panel menurun. Kurva ini penting untuk menentukan titik kerja optimal pada sistem MPPT (Maximum Power Point Tracking) agar panel surya menghasilkan daya maksimum.

Pada Tabel 5 perbandingan tiga algoritma yaitu IC Konvensional, IC Modifikasi, dan P&O menunjukkan bahwa algoritma IC Modifikasi memberikan hasil yang paling optimal dengan nilai tertinggi dan stabil di kisaran 24.82 hingga 24.98. Sementara itu, algoritma IC Konvensional menghasilkan nilai yang cukup stabil namun lebih rendah, berada di kisaran 19.74 hingga 19.76. Algoritma P&O menunjukkan performa yang paling rendah dengan nilai berkisar antara 19.53 hingga 19.62 dan cenderung lebih fluktuatif. Hal ini menunjukkan bahwa IC Modifikasi memiliki efisiensi yang lebih baik dalam mencapai titik daya maksimum (MPP), diikuti oleh IC Konvensional, sedangkan P&O merupakan metode yang kurang akurat dan efisien dalam kondisi pengujian ini.

Tabel.5 Perbandingan Algoritma

IC Konvensional	IC Modifikasi	P&O
19.75	24.84	19.53
19.74	24.93	19.53
19.74	24.93	19.55
19.75	24.8	19.56
19.75	24.87	19.56
19.76	24.86	19.57
19.75	24.82	19.56
19.75	24.89	19.57
19.75	24.91	19.57
19.75	24.96	19.59
19.75	24.94	19.59
19.76	24.84	19.59
19.78	24.92	19.6
19.76	24.88	19.61
19.75	24.82	19.6
19.76	24.91	19.62
19.75	24.91	19.62



Gambar 4. 7

menunjukkan grafik perbandingan tiga algoritma, yaitu IC Konvensional, IC Modifikasi, dan P&O, terhadap daya keluaran (dalam Watt) selama periode pengamatan. Dari grafik tersebut terlihat bahwa algoritma IC Modifikasi (ditandai warna merah) secara konsisten menghasilkan daya tertinggi, berada pada kisaran sekitar 25 W, menunjukkan performa terbaik dalam mencapai titik daya maksimum (MPP). Sementara itu, algoritma IC Konvensional (warna biru) dan P&O (warna hijau) menghasilkan daya yang jauh lebih rendah, masing-masing berada di kisaran sekitar 19.75 W dan 19.6 W, dengan P&O menunjukkan sedikit fluktuasi. Hal ini memperkuat hasil pada Tabel 4.6 bahwa IC Modifikasi lebih unggul dalam efisiensi dan kestabilan dibandingkan dua algoritma lainnya.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan proses perancangan, pengujian, serta analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem MPPT Photovoltaic berbasis algoritma Improved Incremental Conductance (IC) yang diintegrasikan dengan konverter buck mampu meningkatkan kinerja penyerapan daya pada panel surya. Sistem ini menunjukkan bahwa penggunaan algoritma Improved IC menghasilkan respons pelacakan titik daya maksimum (MPP) yang lebih cepat, stabil, dan akurat dibandingkan algoritma IC konvensional maupun metode Perturb and Observe (P&O).

Hasil pengujian menunjukkan bahwa konverter buck bekerja dengan efisiensi rata-rata 82–84%, serta mampu menjaga tegangan keluaran tetap stabil sesuai kebutuhan beban hidroponik. Sensor INA219 yang digunakan pada sistem juga memiliki tingkat akurasi yang baik, dengan nilai MAPE kurang dari 5%, sehingga layak sebagai perangkat akuisisi data pada sistem MPPT.

Secara keseluruhan, penerapan algoritma Improved IC terbukti mampu memberikan daya keluaran tertinggi, yaitu berada pada kisaran 24,84 W, jauh lebih baik dibandingkan IC konvensional dan P&O yang berada di kisaran 19–20 W. Dengan demikian, sistem MPPT yang dikembangkan efektif dalam mengoptimalkan pemanfaatan energi surya sebagai sumber energi alternatif untuk mendukung operasional sistem hidroponik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Z. Zeke Manurung, D. Radianto, and H. Herwandi, "Implementasi Incremental Conductance Photovoltaic MPPT Pada Konverter Buck," *Jurnal Elektronika dan Otomasi Industri*, vol. 10, no. 1, pp. 44–51, May 2023, doi: 10.33795/elkolind.v10i1.2748.
- [2] "zainal,+Journal+manager,+769-1751-1-UPLOAD".
- [3] R. Dwidayanti, H. Gusmedi, and S. S. Ratna, "Optimasi Pengisian Daya Baterai pada Panel Surya Menggunakan Maximum Power Point Tracking (MPPT)," 2017.
- [4] P. Dan Tantangan Pendidikan Tinggi, P. Arduino pada Pengendali Pengisian Baterai Panel Surya, M. Adi

- Darmawan, A. Lomi, and I. Budi Sulistiawati, "Seminar Nasional 2022 ITN Malang," vol. 13, p. 2022.
- [5] E. S. Wirateruna and A. F. A. Millenia, "Design of MPPT PV using Particle Swarm Optimization Algorithm under Partial Shading Condition," *International Journal of Artificial Intelligence & Robotics (IJAIR)*, vol. 4, no. 1, pp. 24–30, May 2022, doi: 10.25139/ijair.v4i1.4327.
- [6] P. Dan Tantangan Pendidikan Tinggi, P. Arduino pada Pengendali Pengisian Baterai Panel Surya, M. Adi Darmawan, A. Lomi, and I. Budi Sulistiawati, "Seminar Nasional 2022 ITN Malang," vol. 13, p. 2022, 2022.
- [7] G. B. Sitanggang, A. Dan, and E. W. Sinuraya, "PERANCANGAN KONTROL MPPT DENGAN METODE P&O PADA SISTEM PV DI GEDUNG TEKNIK SIPIL UNIVERSITAS DIPONEGORO." [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/transient>
- [8] G. B. Sitanggang, A. Dan, and E. W. Sinuraya, "PERANCANGAN KONTROL MPPT DENGAN METODE P&O PADA SISTEM PV DI GEDUNG TEKNIK SIPIL UNIVERSITAS DIPONEGORO." [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/transient>
- [9] Y. Andriwa Putri *et al.*, "Peningkatan Kinerja Sistem Photovoltaic Dengan Mengaplikasikan Algoritma Incremental Conductance Yang Ditingkatkan," *MSI Transaction on Education*, vol. 6, pp. 2721–4893, 2025, doi: 10.46574/mted.v6i1.157.
- [10] "Modul Praktikum Mikrokontroler."
- [11] G. B. Sitanggang, A. Dan, and E. W. Sinuraya, "PERANCANGAN KONTROL MPPT DENGAN METODE P&O PADA SISTEM PV DI GEDUNG TEKNIK SIPIL UNIVERSITAS DIPONEGORO," 2021. [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/transient>
- [12] R. Tjatur Widodo and A. dan Purnomo Sejati, "MAXIMUM POWER POINT TRACKER SEL SURYA MENGGUNAKAN ALGORITMA PERTURB AND OBSERVE."
- [13] 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/infotr/article/view/20267>
- [14] H. Rusiana Iskandar *et al.*, "Algoritma Incremental Conductance dan Perturbation Observation Sebagai Kendali MPPT PLTS 1000Wp," *Jurnal Teknik: Media Pengembangan Ilmu dan Aplikasi Teknik*, vol. 19, no. 02, pp. 79–89, 2020.
- [15] R. Tjatur Widodo and A. dan Purnomo Sejati, "MAXIMUM POWER POINT TRACKER SEL SURYA MENGGUNAKAN ALGORITMA PERTURB AND OBSERVE."
- [16] P. Setiyawan, S. Budi Utomo, dan Agus Adhi Nugroho, F. Teknologi Industri dan Universitas Islam Sultan Agung Semarang, and J. Raya Kaligawe Km, "Analisa Optimasi Photovoltaic(PV) 100 W Menggunakan MPPT dengan Alogaritma Perturb dan Observe," 2021.
- [17] A. S. Hadi, T. Alawiy, and E. S. Wirateruna, "Optimasi PV dengan Metode MPPT Berbasis Algoritma Genetika."
- [18] "2159-6565-1-PB (1)".
- [19] 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.

- [20] R. Fibrianti, “2159-6565-1-PB,”
JURNAL TEKNOLOGI ELEKTERIKA,
2022.