



Rancang Bangun Sistem MPPT *Photovoltaic* Berbasis Algoritma *Modified Incremental Conductance* dengan Arduino dalam Kondisi *Irradiance* yang Bervariasi

M. Ismi Maulana ^a, Bambang Minto Basuki ^b, Efendi S Wirateruna ^c

^{a,b,c} Teknik Elektro, Universitas Islam Malang, Malang, Indonesia

email: ^a21801053019@unisma.ac.id, ^bBambang.minto@unisma.ac.id, ^cefendi.s.wirateruna@unisma.ac.id*

*Corresponding Author

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah artikel:

Received 20 Agustus 2023

Reviewed 1 Oktober 2023

Revised 20 November 2023

Accepted 29 November 2023

Kata kunci:

MPPT

Photovoltaic

Modified IC

Arduino UNO

ABSTRAK

Energi matahari adalah sumber daya alam yang sangat besar dampaknya terhadap perkembangan kehidupan di bumi. Sel *photovoltaic* (PV) adalah salah satu teknologi sumber energi alternatif yang dapat mengubah energi foto arus searah menjadi energi listrik. Energi maksimum dari panel surya PV dengan efisiensi tertinggi dapat diekstraksi yang dikenal dengan Teknik *Maximum Power Point Tracking* (MPPT). Perangkat pengontrol pelacakan titik daya maksimum ini diimplementasikan untuk mengatur konverter DC-DC untuk mengekstrak energi matahari yang optimal dari modul fotovoltaiik. Dalam penelitian ini, kendali MPPT berbasis algoritma *modified incremental conductance* dan algoritma *incremental conductance* diimplementasikan secara langsung dalam perangkat arduino uno, modul fotovoltaiik 20wp dan konverter boost. Pengujian dilaksanakan di laboratorium dengan menggunakan lampu halogen untuk mempresentasikan perubahan radiasi. Hasil pengujian sensor arus INA219 dan sensor tegangan dc menunjukkan kerja yang baik dengan nilai error masing-masing sebesar 0,33% dan 0,31%. Hasil pengujian sistem PV menunjukkan bahwa performa MPPT berbasis modif IC dengan nilai daya maksimum 9,61W, 2,78W dan 5,05W, lebih baik daripada MPPT berbasis IC dengan nilai daya maksimum sebesar 5,4W, 3,1W dan 3,42W.

1. Pendahuluan

Energi matahari adalah sumber daya alam yang sangat besar dampaknya terhadap perkembangan kehidupan di bumi. Energi matahari dikatakan sebagai sumber energi yang terbarukan karena keberadaannya yang tidak ada habis-habisnya. Oleh karena itu, penggunaan sumber energi baru terbarukan semakin meningkat untuk memenuhi kebutuhan energi listrik yang semakin meningkat. Sel *photovoltaic* (PV) adalah salah satu teknologi sumber energi alternatif yang dapat mengubah energi foto arus searah menjadi energi listrik [1], [2]. Salah satu sumber energi listrik terbarukan yang digunakan sebagai sumber energi alternatif adalah PV energi surya memiliki banyak keuntungan, seperti biaya perawatan yang terjangkau dan tidak mengakibatkan polusi, hal ini menjadi topik yang menarik dalam menangani masalah pemanasan global.

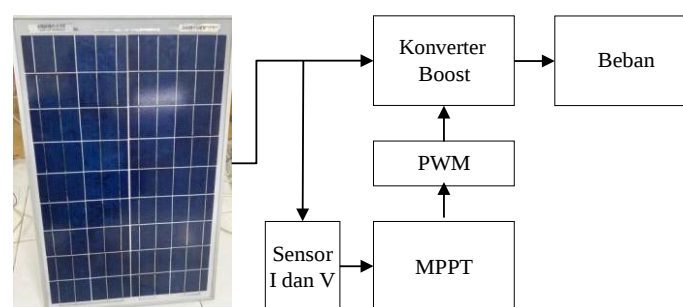
Energi maksimum dari panel surya PV dengan efisiensi tertinggi dapat diekstraksi yang dikenal dengan Teknik *Maximum Power Point Tracking* (MPPT). Perangkat pengontrol Pelacakan Titik Daya Maksimum ini diimplementasikan untuk mengatur Konverter DC-DC untuk mengekstrak energi matahari yang optimal dari modul panel surya. Sistem panel PV memiliki kurva karakteristik tegangan-daya dan kurva karakteristik tegangan arus [3]. Dengan demikian, tegangan dan arus merupakan variabel penting yang digunakan sebagai acuan untuk mengontrol *boost converter*. *Boost converter* memiliki peran utama untuk menaikkan tegangan dan memberikan impedansi antara PLTS dan

beban[4]. Algoritma *Incremental Conductance* (IC) dipilih dalam penelitian ini untuk mengatur *pulse width modulation* (PWM) pada *boost converter* agar diperoleh keluaran energi yang optimal dari modul surya PV. Algoritma IC konvensional bekerja ketika perubahan keluaran daya dan keluaran tegangan dari PV terjadi dengan pertimbangan karakteristik tegangan daya[5], [6]. Algoritma IC yang dikategorikan sebagai metode kontrol langsung dapat menunjukkan efisiensi yang tinggi, dan biaya yang rendah dibandingkan dengan algoritma konvensional lainnya[7]–[9].

Banyak algoritma menunjukkan kompleksitas struktur dan implementasi, misalnya metode kontrol algoritma kecerdasan buatan memiliki kompleksitas tinggi dan juga biaya tinggi [10]. Selain itu, metode kontrol ini sulit untuk implementasi perangkat keras. Metode kontrol nonlinier, sebagai kontrol cerdas, juga memiliki kompleksitas menengah hingga tinggi dan biaya tinggi untuk mengimplementasikan komponen perangkat keras. Di sisi lain, metode kontrol berdasarkan pemilihan parameter menyebabkan kompleksitas rendah namun akurasinya rendah. Misalnya, metode CVT MPPT, bahwa hubungan antara tegangan pada titik daya maksimum dan tegangan rangkaian terbuka dibentuk sebagai fungsi linier[11], [12]. Metode ini, di bawah variasi suhu, tidak dapat mencapai pelacakan titik daya maksimum yang sempurna. Oleh karena itu, MPPT membutuhkan algoritma dengan kompleksitas rendah-sedang dan implementasi perangkat keras yang mudah dalam hal topologi konverter. Algoritma konduktansi inkremental adalah metode yang diusulkan dalam penelitian ini untuk mencapai output daya yang optimal dari modul fotovoltaik dan implementasi perangkat keras yang mudah menggunakan Arduino UNO. Selain itu, makalah ini juga menjelaskan komponen perangkat keras dengan pertimbangan implementasi yang mudah dan biaya yang rendah.

2. Metode

Sistem MPPT panel surya dirancang terlebih dahulu secara hardware, untuk selanjutnya dapat diuji performa sistem MPPT fotovoltaik dengan algoritma *incremental conductance*, algoritma *modified incremental conductance* dan tanpa algoritma. Sistem MPPT PV terdiri dari beberapa komponen utama yaitu panel fotovoltaik 20wp, MPPT, konverter boost. Metode yang diimplementasikan dalam penelitian ini adalah penelitian eksperimental yang melibatkan dua variabel utama, V dan I , yang akan diukur. Komponen sensor tegangan dan arus akan diuji terlebih dahulu. Selanjutnya perancangan dan pengujian sistem kendali MPPT berbasis algoritma *incremental conductance*, algoritma *modified algoritma conductance* dan tanpa algoritma. Hasil pengujian ketiga metode itu akan dibandingkan performanya.



Gambar 1. Blok Diagram Sistem PV

Gambar 1 menunjukkan proses kerja dari Sistem PV mulai dari *output* dari panel surya terhubung dengan *input* konverter boost dan juga terhubung dengan sensor arus dan tegangan. Selanjutnya, keluaran dari sensor arus dan tegangan akan dikirim ke MPPT. Kendali MPPT berdasarkan algoritma *incremental conductance* diprogram pada perangkat Arduino. Arduino MPPT kemudian mengolah data tersebut menggunakan algoritma *incremental conductance* untuk menentukan duty cycle atau nilai PWM. PWM mengatur mosfet konverter boost untuk mengontrol tegangan konverter. Setelah itu, keluaran konverter terhubung dengan beban.

A. MPPT

Algoritma *incremental conductance* (IC) dapat diimplementasikan dalam kendali MPPT pada sistem fotovoltaik untuk mengendalikan nilai *duty cycle*. Algoritma *incremental conductance* bekerja berdasarkan nilai perbandingan antara arus dan tegangan.

$$\frac{dV}{dV} = \frac{d(V \times I)}{dV} = V \left(\frac{dI}{dV} \right) + I \left(\frac{dV}{dV} \right) \quad (1)$$

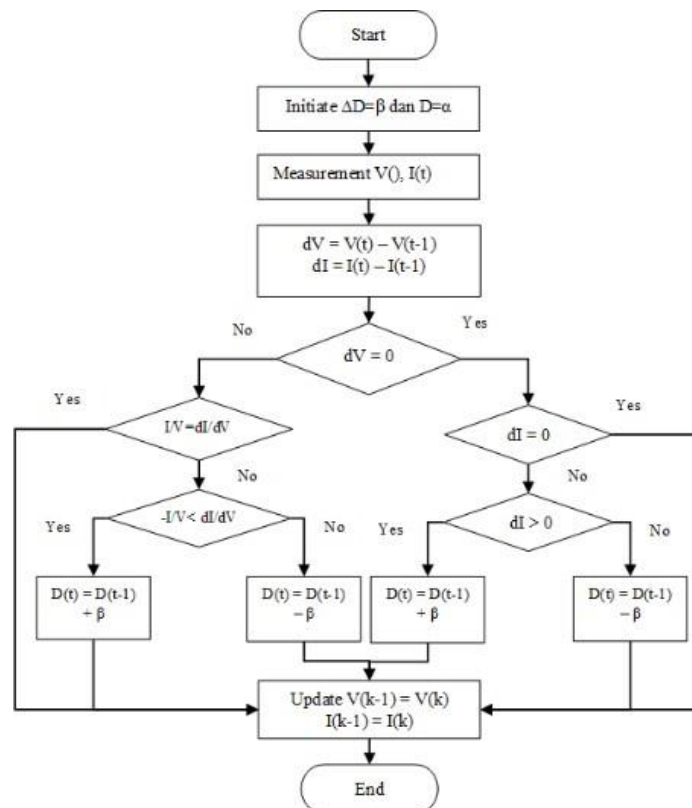
$$\frac{dP}{dV} = V \left(\frac{dI}{dV} \right) + I \quad (2)$$

$$-\frac{I}{V} = \left(\frac{dI}{dV} \right) \text{ ketika } \frac{dP}{dV} = 0 \quad (3)$$

$$-\frac{I}{V} < \left(\frac{dI}{dV} \right) \text{ ketika } \frac{dP}{dV} > 0 \quad (4)$$

$$-\frac{I}{V} > \left(\frac{dI}{dV} \right) \text{ ketika } \frac{dP}{dV} < 0 \quad (5)$$

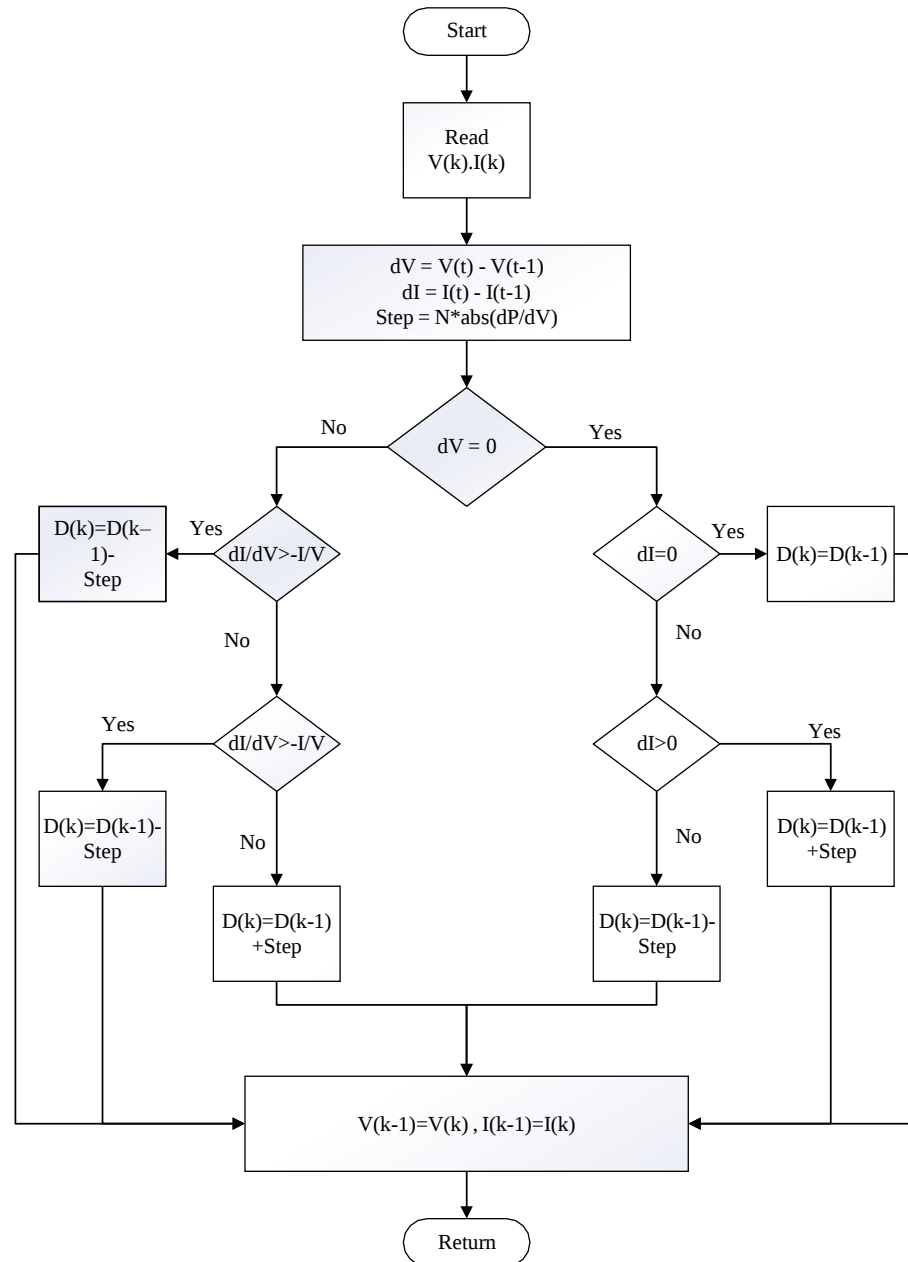
Turunan daya PV terhadap tegangan keluaran dijelaskan pada Persamaan (1) dan (2). Tegangan dan arus keluaran dari modul PV diukur oleh sensor untuk menghitung konduktansi sesaat (IPV/VPV) dan inkremental konduktansi. Ketika MPP terjadi, daya PV turunan sehubungan dengan tegangan sama dengan nol. Dengan demikian, jumlah konduktansi inkremental dan konduktansi sesaat sama dengan nol. Prinsip algoritma, Persamaan (3)-(5), adalah membandingkan konduktansi inkremental dan konduktansi sesaat untuk memutuskan apakah tegangan akan diturunkan atau dinaikkan untuk mencapai MPP. Jika titik daya di sebelah kanan MPP diamati, jumlah konduktansi inkremental dan sesaat adalah positif, artinya konduktansi inkremental lebih besar daripada konduktansi sesaat negatif. Jika tidak, ketika titik daya diamati di sebelah kiri MPP, jumlah konduktansi inkremental dan sesaat adalah negatif, yang berarti bahwa konduktansi inkremental kurang dari nilai negatif konduktansi sesaat. Cara kerja detail algoritma *incremental conductance* ditunjukkan oleh Gambar 2.



Gambar 2. Algoritma *Incremental Conductance*

B. Algoritma *Modified Incremental Conductance*

Penelitian ini fokus modifikasi algoritma *incremental conductance* dengan mengevaluasi nilai stepnya. Step ini nilainya diganti suatu persamaan dengan mengecek nilai kemiringan nilai daya dibagi nilai tegangan yang terdeteksi di sensor. Algoritma ini seperti dijelaskan Gambar 3.



Gambar 3. Algoritma *Modified Incremental Conductance*

C. Fotovoltaik

Fotovoltaik sebagai pembangkit untuk menyalurkan tegangan pada beban yang akan digunakan. Spesifikasi pada photovoltaic ialah pada Tabel

Tabel 1 Spesifikasi Fotovoltaik

Model	156P-20
Daya maksimum	20 W
Tegangan daya maksimum	17,2 Volt
Arus daya maksimum	1,16 Ampere
Tegangan rangkaian terbuka	20,64 Volt
Arus hubung singkat	1,3 Ampere

Suhu sel operasi nominal	45±2°C
Tegangan sistem maksimum	1000 Volt
Sekering seri maksimum	16 Ampere

D. Sensor Arus dan Tegangan

Sensor arus yang digunakan dalam penelitian ini adalah sensor INA219. Sensor arus digunakan untuk mengukur data arus dari fotovoltaiik. Sensor tegangan yang digunakan adalah sensor tegangan DC.

E. Konverter Boost

Konverter bekerja sebagai impedansi penghubung antara sistem beban dan sel fotovoltaiik. Komponen konverter boost adalah induktor L , mosfet, diode, kapasitor input C_{in} dan kapasitor output C_{out} . Parameter perancangan konverter boost ialah pada Tabel 2.

Tabel 2 Parameter Perancangan Konverter Boost

Parameter	Nilai
Tegangan masukan	17 Volt
Tegangan keluaran	33 Volt
Frekuensi	33kHz
<i>Duty cycle</i>	5 – 60%
Ripple tegangan	0,01
Arus	1 A

3. Hasil and Pembahasan

Dalam melakukan pengujian perbandingan MPPT berbasis algoritma *modified incremental conductance* diperlukan kondisi yang sama untuk membandingkan daya yang didapatkan oleh MPPT berbasis algoritma *modified incremental conductance* dengan daya yang didapatkan dengan MPPT berbasis algoritma *incremental conductance*. Untuk pengujian sistem PV menggunakan sumber lampu halogen seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. PV dengan Menggunakan Sumber Lampu Halogen

Terdapat tiga lampu yang digunakan untuk mempresentasikan perubahan radiasi. Hasil pengukuran dengan luxmeter di 50 detik pertama 3 lampu menyala, 20200 W/m². Pada 50 detik kedua 1 lampu yang menyala menunjukkan pengukuran luxmeter sebesar 9700 W/m². Kemudian di 50 detik ketiga 2 lampu yang menyala menunjukkan nilai intensitas cahaya sebesar 16270 W/m². Selanjutnya pengujian sensor tegangan dan sensor arus, dan pengujian sistem PV.

A. Pengujian Sensor Tegangan

Pengujian sensor tegangan bertujuan untuk mengukur tegangan masukan sistem, hasil dari pengujian sensor tegangan ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Uji Sensor Tegangan

Tegangan Multimeter (V)	Tegangan Sensor (V)	MAPE (%)
5,08	5,04	0,78
10,12	10,08	0,39

15,06	15,05	0,06
20,04	20,05	0,04
Mean Absolute Percentage Error (MAPE)		0,31

B. Pengujian Sensor Arus

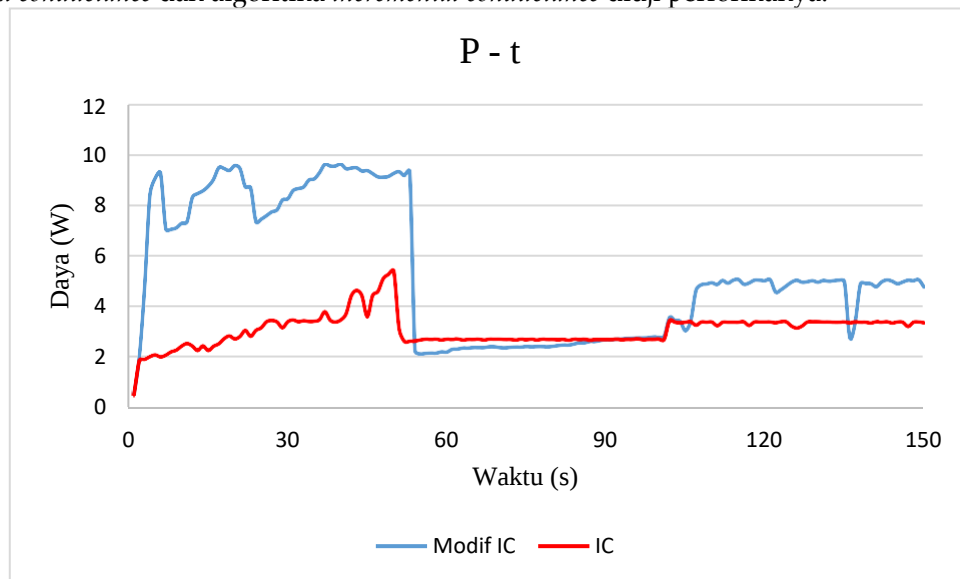
Pengujian sensor arus INA219 bertujuan untuk mengukur arus masukan sistem, hasil dari pengujian sensor arus INA219 ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Uji Sensor INA219

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

C. Pengujian Sistem MPPT

Setelah dilakukan pengujian sensor, fotovoltaik, dan sistem MPPT berbasis algoritma *modified incremental conductance* dan algoritma *incremental conductance* diuji performanya.



Gambar 5. Grafik Perbandingan Daya MPPT Modif IC dengan MPPT IC

Hasil pengujian perbandingan antara daya yang diperoleh MPPT berbasis algoritma *modified incremental conductance* dengan MPPT berbasis algoritma *incremental conductance* ditunjukkan pada Gambar 5. Detail sumbu X menunjukkan nilai waktu dalam detik dan sumbu Y menunjukkan nilai daya dalam watt. Pada Gambar 5. di 50 detik pertama MPPT berbasis algoritma *modified incremental conductance* langsung mencapai titik puncak daya maksimum sebesar 9,61W, sedangkan MPPT berbasis algoritma *incremental conductance* titik daya maksimum yang diperoleh sebesar 5,4W. Selanjutnya di 50 detik kedua titik daya maksimum MPPT berbasis algoritma *modified incremental conductance* sebesar 2,78W dan MPPT berbasis algoritma *incremental conductance* sebesar 3,1W. Pada 50 detik terakhir MPPT berbasis algoritma *modified incremental conductance* memperoleh titik daya maksimum sebesar 5,05W dan MPPT berbasis algoritma *incremental conductance* sebesar 3,42W.

Gambar 6. Perbandingan Daya Maksimum MPPT berbasis Modif IC dan IC

Algoritma MPPT	Daya Maksimum (Watt)		
	3 Lampu	1 Lampu	2 Lampu
Modif IC	9,61	2,78	5,05
IC	5,4	3,1	3,42
Selisih	4,21	0,32	2,43

Selisih terbanyak terjadi pada kondisi pertama, 20200 W/m², sekitar 4,21W. Secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa kendali MPPT berbasis algoritma *modified incremental conductance* dapat

menunjukkan performa lebih baik daripada algoritma *incremental conductance*. Namun keduanya, MPPT berbasis *modified incremental conductance* dan *incremental conductance*, menunjukkan adanya osilasi ketika terjadi perubahan radiasi.

4. Kesimpulan

Rancang bangun sistem PV menggunakan beberapa komponen yaitu panel surya yang disambungkan ke sensor arus dan tegangan serta konverter boost yang dipasangkan dengan Arduino UNO yang telah diimplementasikan MPPT berbasis algoritma *modified incremental conductance*. Sensor menunjukkan hasil performa yang cukup baik dengan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) yang diperoleh sensor tegangan sebesar 0,31% dan MAPE sensor arus INA219 sebesar 0,33%.

Hasil pengujian implementasi rangkaian *hardware* sistem PV dengan MPPT berbasis algoritma *modified incremental conductance* dengan sumber lampu halogen dalam kondisi radiasi yang berubah sangat cepat menunjukkan di 50 detik pertama titik daya maksimum sebesar 9,61W, pada 50 detik kedua titik daya cenderung stabil dengan nilai daya maksimum sebesar 2,78W dan di 50 detik terakhir titik daya maksimum sebesar 5,05W.

5. Referensi

- [1] Wirateruna E, "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, Mar. 2022, doi: 10.30736/je-unisla.v7i1.769.
- [2] 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," 2022, doi: 10.33086/atcsj.v4i2.2450.
- [3] G. H. N. Aldiantama, N. A. Windarko, and L. P. S. Raharja, "Perancangan MPPT Modified Incremental Conductance menggunakan Interleaved Boost Converter untuk Reduksi Osilasi," vol. 10, no. 1, pp. 76–89, 2022, doi: 10.26760/elkomika.v10i1.76.
- [4] S. UTAMI, S. SAODAH, and A. PUDIN, "Penggunaan Algoritma Incremental Conductance pada MPPT dengan Buck Converter untuk Pengujian Indoor dan Outdoor," *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, vol. 6, no. 1, p. 97, Apr. 2018, doi: 10.26760/elkomika.v6i1.97.
- [5] Y. Munandar Kolewora, E. Firmansyah, and Suharyanto, "MPPT BERDASARKAN ALGORITMA P&O DAN IC PADA INTERLEAVED-FLYBACK 250W," 2018.
- [6] M. Fahrulrozi, M. J. Afroni, and B. Minto, "STUDI PENINGKATAN DAYA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA DARI DAYA 50 WATT MENJADI 1000 WATT DI DESA MONTALLAT I KABUPATEN BARITO UTARAKALIMANTAN TENGAH," 2019.
- [7] M. Sampe Banne and M. Marzuki, "ANALISIS DAYA YANG DIHASILKAN OLEH SEL FOTOVOLTAIK 20 WP," 2020.
- [8] R. Hardiansyah and S. Meliala, "PERANCANGAN SISTEM CHARGING CONTROL PHOTOVOLTAIC DENGAN SISTEM MPPT MENGGUNAKAN METODE INCREMENTAL CONDUCTANCE," *Jurnal Energi Elektrik*, vol. 11, no. 1, pp. 6–12, 2022.
- [9] A. Sukma, P. : Desain, D. Simulasi, A. S. Pratiwi, S. Dwitya Nugraha, and E. Sunarno, "Desain dan Simulasi Bidirectional DC-DC Converter untuk Penyimpanan Energi pada Sistem Fotovoltaik (Design and Simulation of Bidirectional DC-DC Converter for Energy Storage in Photovoltaic System)," 2020.
- [10] O. Melfazen, M. T. Alawiy, and D. Dewatama, "Implementaasi Maximum Power Point Tracker (MPPT) dengan topologi sepic pada pembangkit listrik tenaga surya," *JURNAL ELTEK*, vol. 18, no. 2, p. 1, Oct. 2020, doi: 10.33795/eltek.v18i2.250.
- [11] Lubis A, Hasan H, and Devi Sara I, "Desain Maximum Power Point Tracking (MPPT) pada Sistem Fotovoltaik Menggunakan Algoritma Incremental Conductance," 2022.
- [12] Winarno I and Marauli, "IMPLEMENTASI MAXIMUM POWER POINT TRACKER (MPPT) UNTUK OPTIMASI DAYA PADA PANEL SURYA BERBASIS ALGORITMA INCREMENTAL CONDUCTANCE," *UNIVERSITAS AMIKOM Yogyakarta*, 2018.