



ANALISA PERBANDINGAN IMPLEMENTASI MPPT PV BERBASIS ALGORITMA P&O DAN IC DENGAN ARDUINO UNO

Efendi S Wirateruna¹

*Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Islam Malang
 Jalan MT. Haryono, No. 193, Dinoyo, Lowokwaru, Malang
 Telp. (0341) 551932
 E-mail: efendi.s.wirateruna@unisma.ac.id*

ABSTRAK

*Received :19-01-2022
 Accepted :02-02-2022
 Published :15-03-2022*

Sumber energi fosil semakin terbatas yang tak dapat diperbarui ketika permintaan energi konsumen semakin tinggi. Fotovoltaik (PV) adalah salah satu sumber energi baru terbarukan dengan teknologi konversi energi dari matahari menjadi listrik DC. Banyak potensi tinggi terjadi pada teknologi sistem kendali Maximum Power Point Tracking (MPPT) fotovoltaik yang dapat dikembangkan. Fotovoltaik mempunyai karakteristik non linier, sehingga diperlukan suatu kendali yang dapat mengekstrak energi PV dengan implementasi yang mudah. Dalam penelitian ini, kendali MPPT berbasis algoritma IC dan P&O diimplementasikan secara langsung dalam perangkat arduino uno, modul fotovoltaik 20wp dan konverter boost. Pengujian dilaksanakan di laboratorium dengan menggunakan lampu sorot untuk tiga kondisi yang berbeda. Hasil pengujian sensor arus INA219 dan sensor tegangan menunjukkan kerja yang baik dengan nilai error masing – masing sebesar 1,02% dan 1,03%. Hasil pengujian sistem MPPT PV menunjukkan bahwa performa MPPT berbasis IC dengan nilai daya rata – rata 10,85 watt, 5,52 watt dan 4,66 watt, lebih baik daripada MPPT PV berbasis P&O dengan nilai daya rata – rata sebesar untuk ketika kondisi, 9,9 watt, 5,39 watt dan 4,55 watt.

Kata kunci : Fotovoltaik, MPPT, IC, P&O, Arduino uno

ABSTRACT

Fossil energy sources are increasingly limited which cannot be renewed when energy demand is higher. Photovoltaic (PV) is one of the new renewable energy with the energy conversion from the sun into DC electricity. Many high potentials occur in photovoltaic Maximum Power Point Tracking controller system that can be developed. Photovoltaic has non-linear characteristics, so we need a control that can extract PV energy with easy implementation. In this study, MPPT controller based on IC and P&O is implemented in Arduino Uno, 20wp photovoltaic module and boost converter. The testing of INA219 current sensor and voltage sensor show error values about 1.82% and 0.83%, respectively, which are an acceptable limit. The test was carried out in the laboratory using a floodlight for three conditions. The test results of MPPT PV system show that the performance of MPPT based on IC with an average power value for each conditions, 10.85 watts, 5.52 watts and 4.66 watts respectively is better than MPPT PV based on P&O, 9.9 watts, 5.39 watts and 4.55 watts respectively.

Keywords: Photovoltaic, MPPT, IC, P&O, Arduino uno

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ketersediaan sumber energi surya tak terbatas, sedangkan cadangan bahan bakar fosil semakin terbatas untuk memenuhi kebutuhan listrik (Faizal et al., 2016). Oleh sebab itu, penggunaan sumber energi baru terbarukan semakin meningkat untuk memenuhi energi listrik konsumen yang semakin tinggi (Ozcan, 2018). Energi matahari adalah salah satu sumber

energi baru terbarukan yang ramah lingkungan dan menjadi isu yang sangat menarik sebagai solusi permasalahan pemanasan global. Sel fotovoltaik (PV) adalah salah satu teknologi sumber energi alternatif yang dapat mengonversi energi foton menjadi energi listrik dengan arus DC (Rasheed & Shihab, 2020)(Yudianto et al., 2021). Sel fotovoltaik sangat berpengaruh terhadap variabel suhu dan intensitas sinar matahari. Dua variabel tersebut membuat

karakteristik fotovoltaik yang dinamis. Keluaran sel fotovoltaik membentuk kurva karakteristik yang bersifat nonlinier, dimana daya bervariasi terhadap tegangan fotovoltaik. Sehingga, sel fotovoltaik membutuhkan suatu kendali yang dapat mempertahankan keluaran daya fotovoltaik pada titik optimal. Efisiensi daya keluaran fotovoltaik dapat ditingkatkan dengan menambah kendali yang mampu mengekstrak energi fotovoltaik secara maksimal. Kendali *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) adalah sebagai kendali yang efektif untuk menjajak titik operasi daya fotovoltaik, dimana MPPT dapat diperoleh dengan instalasi konverter elektronik daya yang digunakan sebagai penghubung antara fotovoltaik dan pengguna energi seperti beban atau baterai dalam sistem daya.

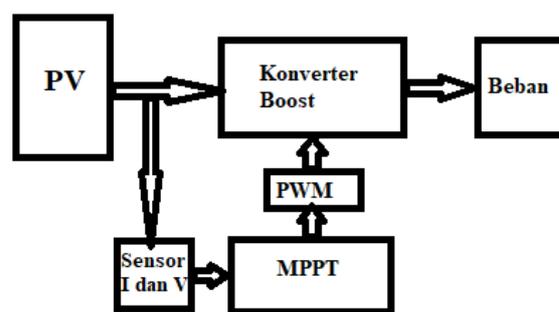
Ada beberapa metode yang diimplementasikan pada sistem MPPT oleh para peneliti untuk mengekstrak daya keluaran dari fotovoltaik. Algoritma *perturbation and Observation* (P&O) diimplementasikan dalam kendali MPPT dengan menggunakan perangkat arduino (Filali & Zazi, 2021). Perangkat arduino nano ditanam algoritma P&O dengan menerima data arus dan tegangan dari sensor yang mendeteksi keluaran fotovoltaik. Keluaran arduino baik melalui simulasi proteus atau perangkat keras arduino yaitu *duty cycle* yang dikirim ke konverter. Hasil menunjukkan bahwa P&O MPPT mampu mencapai nilai yang diharapkan. Hasil yang sama dari penelitian implementasi algoritma P&O pada MPPT PV dengan topologi SEPIC (Melfazen et al., 2020). Algoritma IC diimplementasikan dalam sistem kendali MPPT dengan menggunakan perangkat arduino (Santoso Putra & Yuhendri, 2020). Pencarian titik daya sistem panel surya menggunakan konverter boost dan algoritma IC di program langsung dalam arduino mega 2560 untuk 4 buah fotovoltaik, dengan total daya 50WP. Hasil IC menunjukkan bahwa MPPT telah mampu mengendalikan daya fotovoltaik pada titik maksimum.

Peneliti, (Mahendra et al., 2021), mendesain MPPT P&O dan *incremental conductance* (IC) pada fotovoltaik 1500 WP berbasis topologi konverter SEPIC dengan menggunakan perangkat lunak MATLAB. Hasil simulasi membandingkan performa sistem MPPT antara algoritma P&O dengan IC. Hasil simulasi menunjukkan bahwa MPPT dengan algoritma P&O lebih baik performanya dibandingkan dengan MPPT berbasis algoritma IC dalam hal peningkatan daya atau efisiensi daya fotovoltaik. Desain MPPT diuji dan dibandingkan hasil performa MPPT dengan algoritma P&O, IC dan logika fuzzy dengan data eksperimen untuk sistem panel surya 250W (Dobrea et al., 2021). Hasil perbandingan menunjukkan bahwa P&O menunjukkan hasil yang terbaik, menyusul algoritma IC. Perbandingan algoritma MPPT menggunakan perangkat lunak untuk simulasi model dengan kendalinya.

Penelitian ini mempresentasikan investigasi eksperimen hasil implementasi algoritma IC dan P&O. Kendali MPPT menggunakan konverter boost untuk menaikkan tegangan keluaran. Kedua algoritma diprogram langsung dalam perangkat arduino uno, sehingga investigasi algoritma IC dan P&O lebih nyata dibandingkan melalui simulasi perangkat lunak. Hasil performa MPPT berbasis algoritma IC dan P&O akan dibandingkan dan dianalisa.

2. METODE PENELITIAN

Sistem MPPT panel surya dirancang terlebih dahulu secara *hardware*, untuk selanjutnya dapat diuji performa sistem MPPT fotovoltaik dengan algoritma IC dan P&O. 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 beserta sel fotovoltaik. Selanjutnya perancangan dan pengujian konverter *boost* dilaksanakan. Setelah itu akan dirancang sistem kendali MPPT berbasis algoritma IC dan P&O. Hasil pengujian dua algoritma akan dibandingkan performanya.



Gambar 1. Diagram Blok

Gambar 1 menunjukkan diagram blok rancangan sistem MPPT panel surya. Fotovoltaik (PV) menghasilkan arus dan tegangan yang dikirim ke konverter boost sebagai masukan, sekaligus diukur nilainya dengan sensor arus dan sensor tegangan. Hasil pengukuran sensor akan dikirim ke kendali MPPT fotovoltaik. Kendali MPPT berbasis algoritma IC dan P&O akan diprogram di perangkat arduino. Setelah itu, Arduino MPPT mengolah data dengan algoritma IC atau P&O untuk menentukan nilai *duty cycle* atau PWM. PWM akan mengatur mosfet konverter boost untuk mengendalikan tegangan konverter.

2.1 Fotovoltaik

Modul fotovoltaik yang digunakan dalam penelitian analisa perbandingan algoritma IC dan P&O pada MPPT PV dengan menggunakan Arduino uno adalah model 156P-20 dengan kapasitas daya

maksimal sebesar 20watt, yang dijelaskan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Modul Fotovoltaik

| Model | 156P-20 |
|------------------------------------|--|
| Daya maksimum | 20 W |
| Tegangan <i>Rated</i> (V_{mp}) | 17,2 V |
| Arus <i>Rated</i> (I_{mp}) | 1,16 A |
| Tegangan <i>open circuit</i> | 20,64 |
| <i>Short circuit</i> | 1,3 A |
| Kondisi pengujian | AM=1,5; 1000W/m ² ; 25 ^o C |

Rangkaian ekuivalen adalah model yang sering diimplementasikan pada sel surya untuk mempermudah analisa karakteristik. Representasi model rangkaian ekuivalen ditunjukkan oleh Gambar 2. Keluaran arus dari rangkaian ekuivalen dapat diformulasikan dalam persamaan berikut (Chaibi et al., 2018):

$$I_{out} = I_{ph} - I_{s,0} \left(\exp\left(\frac{V + IR_s}{aV_t}\right) - 1 \right) - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (1)$$

Dimana:

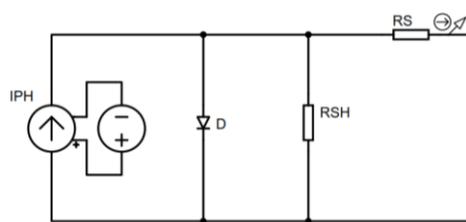
I_{ph} : Arus foton (A)

$I_{s,0}$: Arus balik saturasi (A)

V : Tegangan keluaran sel surya (V)

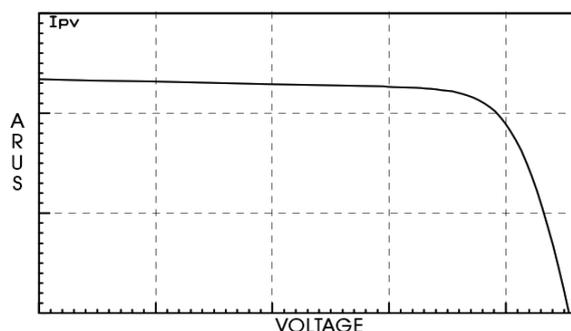
a : Faktor dioda ideal fotovoltaik

V_t : tegangan *thermal*

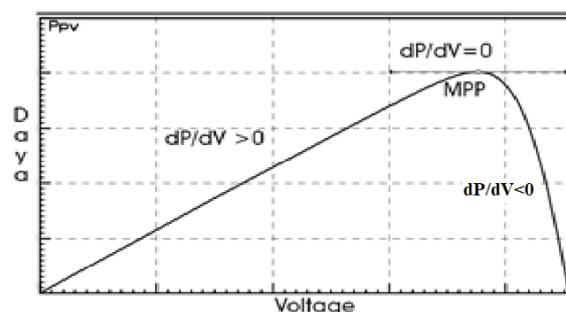


Gambar 2. Rangkaian Ekuivalen PV

Keluaran daya fotovoltaik dipengaruhi oleh nilai intensitas cahaya matahari dan suhu. Perubahan radiasi mempunyai pengaruh yang cukup besar terhadap perubahan arus sedangkan perubahan suhu hanya memiliki pengaruh yang kecil terhadap perubahan tegangan output fotovoltaik.



Gambar 3. Kurva karakteristik I – V



Gambar 4. Kurva karakteristik P – V

Gambar 3 menunjukkan kurva karakteristik kuat arus I dan tegangan V . Hasil perkalian antara arus dan tegangan diperoleh kurva karakteristik daya P terhadap arus I yang ditunjukkan oleh Gambar 4. Kurva karakteristik P-V digunakan sebagai acuan algoritma IC dan P&O beroperasi.

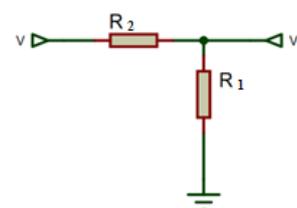
2.2 Sensor Arus dan Tegangan

Sensor arus yang digunakan dalam penelitian ini adalah sensor INA169. Sensor arus digunakan untuk mengukur data arus dari fotovoltaik. INA219 memiliki kemampuan menerima arus maksimal 3,2 Ampere dan tegangan 26 Vdc (Texas Instruments, 2019).

Komponen selanjutnya adalah sensor tegangan dengan menggunakan teknik pembagi tegangan yang ditunjukkan oleh Gambar 5 (Edminister, 1990; Johnson, 1997). Teknik ini digunakan untuk mengurangi tegangan keluaran agar dapat diterima oleh perangkat elektronik sesuai dengan limitnya, seperti Arduino memiliki limit tegangan sebesar 5 volt.

$$V_d = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V \quad (2)$$

Sensor tegangan keluaran panel surya dengan range tegangan maksimal 20,64 volt, sehingga nilai R_1 dan R_2 dapat ditentukan, masing – masing sebesar 20k Ω dan 180k Ω . Dengan nilai hambatan tersebut, keluaran tegangan yang akan masuk ke Arduino akan sesuai dengan batasannya, yaitu 5 volt. Kedua resistor dipilih nilai yang besar agar rangkaian pembagi tegangan tersebut dapat mengurangi dampak rugi – rugi energi.



Gambar 5. Pembagi Tegangan

2.3 MPPT

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

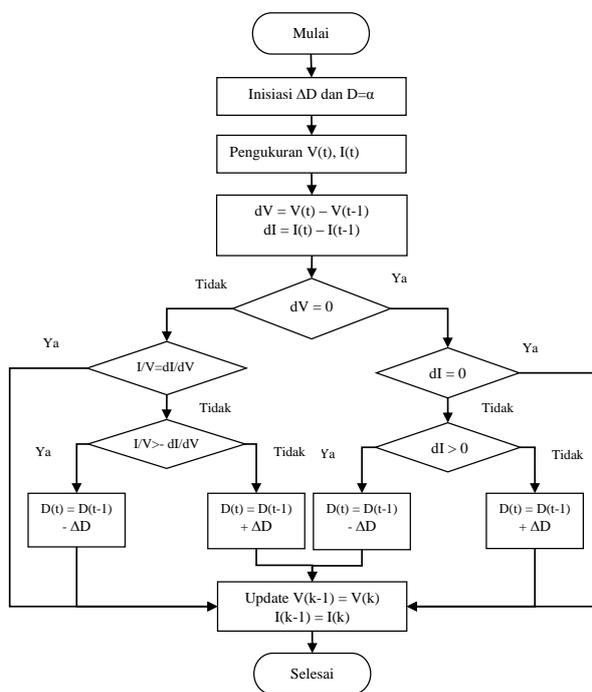
$$\frac{dP}{dV} = \frac{d(VxI)}{dV} = V \left(\frac{dI}{dV} \right) + I \left(\frac{dV}{dV} \right) \tag{3}$$

$$\frac{dP}{dV} = V \left(\frac{dI}{dV} \right) + I \tag{4}$$

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

$$-\frac{I}{V} < \left(\frac{dI}{dV} \right) \quad \text{ketika } \frac{dP}{dV} > 0 \tag{6}$$

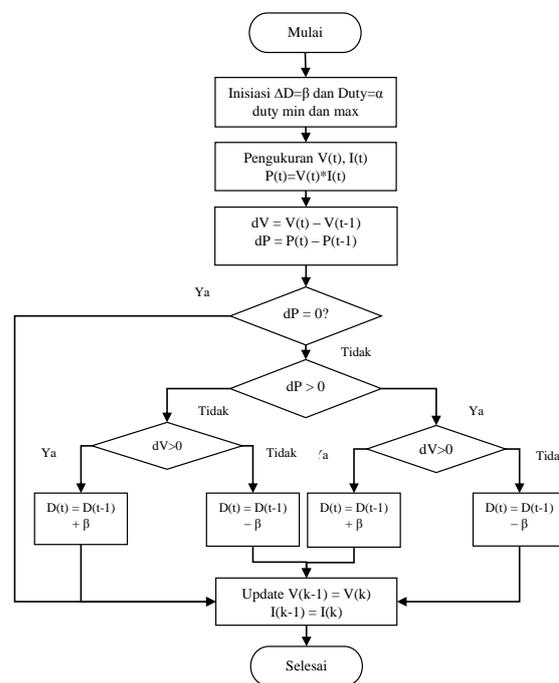
$$-\frac{I}{V} > \left(\frac{dI}{dV} \right) \quad \text{ketika } \frac{dP}{dV} < 0 \tag{7}$$



Gambar 6. Algoritma IC

Turunan dari daya terhadap tegangan dijelaskan dalam persamaan (3) dan (4). Hasil pengukuran sensor berupa nilai tegangan dan arus dari modul fotovoltaik digunakan untuk menghitung nilai konduktansi sesaat (I_{pv}/V_{pv}) dan *incremental conductance* (dI_{pv}/dV_{pv}). Ketika nilai daya berada dititik maksimum, maka turunan daya terhadap tegangan bernilai nol, sehingga kondisi persamaan (5) terpenuhi. Kondisi ini tidak akan ada perubahan nilai *duty cycle*. Ketika kemiringan lebih besar dari nol atau kondisi positif nilai kemiringan pada persamaan (6), titik operasi daya panel surya berada disebelah kiri dari titik puncak daya (MPP). Sehingga, nilai *duty cycle* diurungkan agar nilai tegangan sel surya naik menuju tegangan di titik

puncak daya. Sebaliknya, ketika kondisi persamaan (7) terpenuhi, yaitu kondisi kemiringan negative atau titik operasi daya berada di sebelah kanan titik puncak. Sehingga, nilai *duty cycle* dinaikkan agar tegangan cepat berkurang dan mencapai tegangan di titik daya maksimal. Cara kerja detail algoritma IC ditunjukkan oleh Gambar 6.



Gambar 7. Algoritma P&O

2.4 Konverter Boost

Konverter DC – DC adalah komponen utama dalam sistem panel surya dengan sebuah kendali MPPT. Konverter bekerja sebagai impedansi penghubung antara sistem beban dan sel fotovoltaik. Rangkaian konverter boost DC – DC dalam penelitian ini ditunjukkan oleh Gambar 8. Komponen konverter boost adalah induktor L , mosfet, diode, kapasitor input C_{in} dan kapasitor output C_{out} . Selanjutnya adalah perhitungan nilai komponen elektronik konverter boost (Irkham et al., 2018). Perhitungan dimulai dengan data utama yaitu tegangan masukan konverter atau tegangan PV dengan tegangan keluaran yang diharapkan. Tegangan yang diharapkan lebih besar daripada tegangan PV.

Tabel 2. Parameter Perancangan Konverter Boost

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

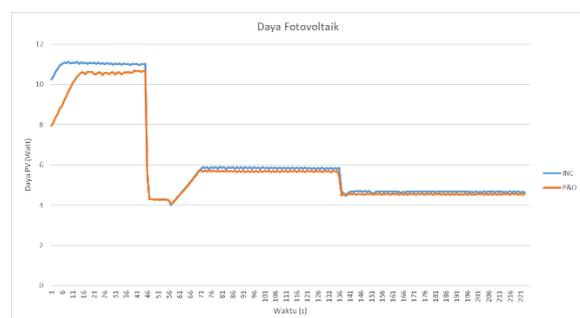
diharapkan dengan nilai rata – rata 1,02% dan standar deviasi sebesar 0,02. Nilai rata – rata error dan standar deviasi menunjukkan performa sensor setelah kalibrasi sesuai dengan Batasan yang dapat diterima.

Tabel 4. Hasil Uji Sensor INA219

| Sensor INA219 (mA) | Alat Ukur (mA) | Error (%) |
|--------------------|----------------|-----------|
| 190.70 | 192.70 | 1.04 |
| 190.78 | 192.70 | 1.00 |
| 190.79 | 192.70 | 0.99 |
| 190.71 | 192.70 | 1.03 |
| 190.75 | 192.70 | 1.01 |
| 190.74 | 192.70 | 1.02 |
| 190.73 | 192.70 | 1.02 |
| 190.73 | 192.70 | 1.02 |
| 190.73 | 192.70 | 1.02 |
| 190.73 | 192.70 | 1.02 |
| 190.69 | 192.70 | 1.04 |
| 190.70 | 192.70 | 1.04 |
| Average (%) | | 1,02 |
| Standar Deviasi | | 0,02 |

3.3 Pengujian Sistem MPPT

Setelah dilakukan pengujian sensor, fotovoltaik dan konverter, sistem MPPT dengan algoritma IC dan P&O diuji performanya. Parameter yang digunakan sebagai komparasi adalah nilai daya rata – rata untuk setiap variasi intensitas cahaya. Parameter selanjutnya adalah analisa respon dari grafik performa untuk MPPT berbasis algoritma IC dan MPPT berbasis algoritma P&O.



Gambar 10. Grafik Performa MPPT IC dan P&O

Gambar 10 menunjukkan performa kendali MPPT berbasis algoritma IC dan MPPT berbasis algoritma. Untuk intensitas cahaya tertinggi yaitu cahaya dari tiga lampu sorot, 200 W/m^2 terdapat perbedaan respon kendali MPPT berbasis algoritma IC dengan algoritma P&O. MPPT dengan algoritma IC menunjukkan respon lebih cepat 8 detik dari pada respon MPPT dengan kendali P&O.

Parameter selanjutnya adalah nilai daya rata – rata yang dapat diekstrak dari sel fotovoltaik dengan menggunakan MPPT berbasis algoritma IC dan P&O. Hasil daya yang diperoleh untuk setiap variasi intensitas cahaya ditunjukkan oleh Tabel 5. Untuk

kondisi ketiga lampu menyala dengan hasil pengukuran luxmeter sebesar 200 W/m^2 , daya rata – rata yang diperoleh MPPT berbasis algoritma IC lebih besar, 10,85 watt, dibanding dengan MPPT berbasis algoritma P&O, sekitar 0,95 watt. Hal yang sama terjadi pada kondisi dua lampu yang menyala dan 1 lampu yang menyala, algoritma IC daya rata – rata PV yang dapat diekstrak lebih banyak, dengan nilai masing – masing 5,52 watt dan 4,66 watt, dibanding dengan MPPT berbasis algoritma P&O, dengan nilai masing – masing sekitar 5,39 watt dan 4,55 watt

Tabel 5. Perbandingan Daya Rata-rata MPPT berbasis IC dan P&O

| Algoritma | Daya Rata-rata (Watt) | | |
|-----------|-----------------------|---------|---------|
| | 3 Lampu | 2 Lampu | 1 Lampu |
| MPPT IC | 10,85 | 5,52 | 4,66 |
| P&O | 9,90 | 5,39 | 4,55 |
| Selisih | 0,95 | 0,13 | 0,11 |

Selisih terbanyak terjadi pada kondisi pertama, 200 Watt/m^2 , sekitar 0,95 watt. Ketika terjadi kenaikan intensitas cahaya, selisih daya antara kedua algoritma semakin besar. Secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa kendali MPPT dengan algoritma IC dapat menunjukkan performa lebih baik daripada algoritma P&O. Namun keduanya, MPPT berbasis algoritma IC dan P&O, menunjukkan adanya osilasi ketika terjadi perubahan nilai intensitas cahaya.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini merancang sistem kendali MPPT Fotovoltaik yang terdiri dari modul fotovoltaik, konverter boost DC-DC, pembagi tegangan sebagai sensor tegangan, sensor arus INA219, Board Arduino uno, dan beban.

Hasil pengujian sensor arus INA219 dan sensor tegangan menunjukkan kerja yang baik dengan nilai error masing – masing sebesar 1,02% dan 1,03%. Hasil pengujian sistem MPPT PV menunjukkan bahwa MPPT berbasis IC mampu menjajak energi dengan nilai daya rata – rata 10,85 watt, 5,52 watt dan 4,66 watt untuk masing – masing 3 kondisi berbeda, sedangkan MPPT PV berbasis P&O, daya rata – rata sebesar 9,9 watt, 5,39 watt dan 4,55 watt. Hasil pengujian sistem MPPT fotovoltaik menunjukkan bahwa kendali MPPT dengan algoritma IC dapat menunjukkan performa lebih baik daripada algoritma P&O. MPPT berbasis algoritma IC dapat mengekstrak energi rata – rata fotovoltaik lebih banyak daripada MPPT berbasis algoritma P&O.

PUSTAKA

Chaibi, Y., Salhi, M., El-jouni, A., & Essadki, A. (2018). A new method to extract the equivalent circuit parameters of a photovoltaic panel. *Solar Energy*, 163, 376–386. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.02.017>

- Daniel, W. H. (1997). *Introduction to Power Electronics*. Printice-Hall International.
- Dobrea, M.-A., Arghira, N., Vasluianu, M., Neculoiu, G., & Moldoveanu, A.-M. C. (2021). MPPT techniques application and comparison for photovoltaic panels. *2021 23rd International Conference on Control Systems and Computer Science (CSCS)*, 386–392. <https://doi.org/10.1109/CSCS52396.2021.00070>
- Edminister, J. A. (1990). *Ragkaian Listrik*. Erlangga.
- Faizal, A., Setyaji, B., Teknik Elektro, J., Sains dan Teknologi, F., Sultan Syarif Kasim Riau Jl Soebrantas No, U. H., & Baru, S. (2016). Desain Maximum Power Point Tracking (MPPT) pada Panel Surya Menggunakan Metode Sliding Mode Control. *Jurnal Sains, Teknologi Dan Industri*, 14(1), 22–31.
- Filali, A. el, & Zazi, M. (2021). Arduino implementation of MPPT with P and O algorithm in photovoltaic systems. *International Journal of Engineering and Applied Physics (IJEAP)*, 1(1), 9–17. <https://ijeap.org/>
- Irkham, Setiawan, I., & Nugroho, A. (2018). PERANCANGAN BOOST CONVERTER SEBAGAI SUPLAI INVERTER MENGGUNAKAN DSPIC30F4011 DENGAN METODE KONTROL PROPORTIONAL INTEGRAL. *TRANSIENT*, 7(3), 737–744.
- Johnson, C. (1997). *Process Control Instrumentation Technology*. Prentice Hall of India.
- Mahendra, L. S., Makmunah, J., & Nisa, K. (2021). Desain Perbandingan MPPT P&O dan IC pada Solar Sel 1500 WP Menggunakan Konverter SEPIC. *JE- UNISLA*, 6(1), 434–442.
- Melfazen, O., Alawiy, M. T., & Dewatama, D. (2020). Implementaasi Maximum Power Point Tracker (MPPT) dengan topologi sepic pada pembangkit listrik tenaga surya. *JURNAL ELTEK*, 18(2), 1. <https://doi.org/10.33795/eltek.v18i2.250>
- Ozcan, M. (2018). The role of renewables in increasing Turkey's self-sufficiency in electrical energy. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 82, pp. 2629–2639). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.111>
- Rasheed, M., & Shihab, S. (2020). Modifications to Accelerate the Iterative Algorithm for the Single Diode Model of PV Model لتسرع تعذالت للنمرج الحادي لمندل الذأند التكرارة الخارزمية للتمرج الحادي. *Iraqi Journal of Physics*, 18(47), 33–43. <https://doi.org/10.30723/ijp.18.47.33-43>
- Santoso Putra, G., & Yuhendri, D. M. (2020). Implementasi Sistem Kendali MPPT Panel Surya Berbasis Algoritma Incremental Conductance. In *JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia* (Vol. 1, Issue 2). Texas Instruments. (2019). *Datasheet INA219*.
- Yudianto, F., kurniastuti, ima, & rupawanti BR, N. (2021). <https://doi.org/10.30736/je-unisla.v6i2.696>. *JE-UNISLA*, 6(2), 46–49.