

Perbandingan Perolehan Energi Listrik Tenaga Surya Antara Beberapa Algoritma *Maximum Power Point Tracker* (MPPT) Pada Kondisi Berbayang Sebagian

Muhammad Al-Rizki¹, M. Jasa Afroni¹, Bambang Minto Basuki¹

Departemen, Teknik Elektro, Universitas Islam Malang

21801053043@unisma.ac.id, bambang.minto@unisma.ac.id

Abstract

Due to limited conventional energy reserves, renewable energy is needed to be developed while reducing dependence on fossil energy. Solar energy includes potential renewable energy that can be converted into electricity using photovoltaics. Photovoltaics have characteristics that are nonlinear, and small efficiencies are affected by the working voltage of the solar panels. To obtain maximum efficiency, an algorithm is needed that can track the MPP (Maximum Power Point) of the P-V curve of solar panels. In this study, IC, P&O and GMPPD algorithms were used directly in the Arduino Uno device, two 20 WP photovoltaic modules and a buck converter. The results of research under different conditions showed that the GMPPD algorithm obtained the highest maximum power point tracking, which was an average of 5.42 Watts, an average IC algorithm of 5.31 Watts, and an average P&O algorithm of 4.86 Watts. While the acquisition of electrical energy in all conditions of the GMPPD algorithm obtained the highest energy of 0.862 Wh, the IC algorithm of 0.845 Wh, and the P&O algorithm of 0.775 Wh.

Keywords : MPPT, IC, P&O, GMPPD, Algorithm, Photovoltaics, Arduino Uno, Converter

Abstraksi

Dikarenakan cadangan energi konvensional yang terbatas, diperlukan energi terbarukan untuk dikembangkan sekaligus mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil. Energi surya termasuk energi terbarukan yang potensial yang dapat dikonversi menjadi listrik menggunakan fotovoltaiik. Fotovoltaiik memiliki karakteristik yang nonlinier, dan efisiensi yang kecil yang dipengaruhi oleh tegangan kerja dari panel surya. Untuk memperoleh efisiensi yang maximum, diperlukan algoritma yang dapat melacak MPP (Maximum Power Point) dari kurva P-V panel surya. Dalam penelitian ini, digunakan algoritma IC, P&O dan GMPPD secara langsung dalam perangkat arduino uno, dua modul fotovoltaiik 20 WP dan buck converter. Hasil penelitian dalam kondisi yang berbeda menunjukkan bahwa algoritma GMPPD memperoleh pelacakan titik daya maximum tertinggi yaitu rata-rata sebesar 5,42 Watt, algoritma IC rata-rata sebesar 5,31 Watt, dan algoritma P&O rata-rata sebesar 4,86 Watt. Sedangkan perolehan energi listrik dalam semua kondisi algoritma GMPPD memperoleh energi tertinggi yaitu sebesar 0,862 Wh, algoritma IC sebesar 0,845 Wh, dan algoritma P&O sebesar 0,775 Wh.

Kata Kunci : MPPT, IC, P&O, GMPPD, Algoritma, Fotovoltaiik, Arduino Uno, Konverter

I. PENDAHULUAN

Energi yang sangat berarti bagi kehidupan manusia ialah energi listrik, semakin lama kebutuhan energi saat ini selaku penggerak kehidupan menjadi bertambah. Sedangkan pasokan daya yang tersedia saat ini tidak dapat memadai kebutuhan yang terus bertambah tersebut, maka dari itu perlunya energi terbarukan. Energi matahari selama bertahun-tahun yang luar bisa besarnya merupakan peluang untuk dikembangkan energi baru terbarukan sekaligus untuk mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil sebagai sumber energi primer [1]. Energi surya senantiasa ada dalam jangka waktu yang lama serta dapat diubah menjadi energi listrik. Untuk mengkonversi energi surya menjadi energi listrik diperlukan panel surya sebagai komponen dasar dari sistem

fotovoltaiik yang memiliki karakteristik I-V dan P-V.

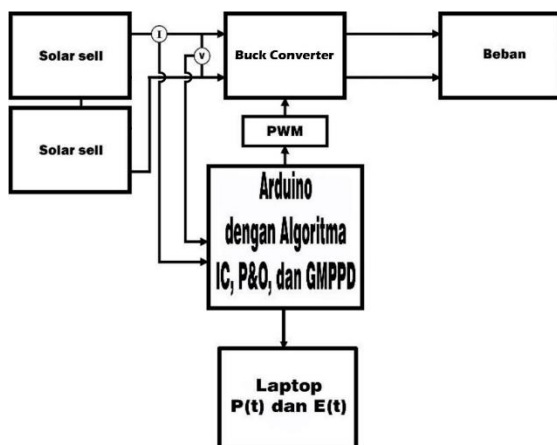
Di sisi lain, persoalan utama pada panel surya ialah efisiensinya yang relatif kecil, paling utama dalam keadaan radiasi yang rendah. Karena cuaca yang berubah-ubah dapat berpengaruh terhadap besarnya daya listrik yang dihasilkan [2]. Karakteristik PV yang *nonlinier* menyebabkan sulitnya beroperasi mendapatkan daya dari PV yang maksimum. Untuk menyelesaikan masalah tersebut bisa digunakan *Maximum Power Point Tracker* (MPPT) agar supaya mendapatkan nilai MPP yang maksimal. Umumnya, algoritma MPPT yang baik harus melacak GMPP dalam semua kondisi dengan cepat untuk memperoleh efisiensi yang tinggi [3].

Berdasarkan uraian kondisi di atas perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui

perbedaan perolehan energi dari dua panel surya ketika dalam kondisi berbayang sebagian yang berubah-ubah dengan menggunakan algoritma MPPT. Beberapa algoritma yang biasa digunakan adalah IC dan P&O, algoritma GMPPD adalah metode yang relatif baru yang perlu juga diuji kinerjanya. Dengan demikian, dapat diketahui perbedaan perolehan energi listrik pada panel surya dalam kondisi berbayang sebagian antara algoritma MPPT *Incremental Conductance* (IC), *Perturb and Observe* (P&O), dan *Global Maximum Power Point Detection* (GMPPD).

II. METODE PENELITIAN

Algoritma MPPT dimasukan ke dalam mikrokontroler pengendali *Buck Converter* yang terletak di antara fotovoltaiik dan beban. Dalam menerapkan MPPT dibutuhkan beberapa komponen yaitu sensor arus (INA169) dan pembagi tegangan yang digunakan untuk mengukur nilai tegangan dan arusnya yang diimplementasikan untuk mendeteksi *output* dari fotovoltaiik. Hasil pengukuran sensor akan dikirim ke perangkat Arduino Uno sebagai kendali. Kendali ini berbasis algoritma IC, P&O, dan GMPPD yang akan di program pada perangkat Arduino Uno. MPPT berkerja untuk melacak titik daya *maksimum* pada fotovoltaiik sesuai karakteristik P-V dengan merubah titik kerja fotovoltaiik agar PV memperoleh efisiensi yang paling tinggi, seperti yang ditunjukkan **Gambar 1** di bawah ini:



Gambar 1. Diagram Blok MPPT

A. Fotovoltaiik

Panel surya adalah sel fotovoltaiik, dari sinar matahari langsung perangkat ini mampu mengubah menjadi energi listrik melalui efek fotovoltaiik. Fotovoltaiik atau disebut sel surya ialah sebuah teknologi yang dapat memperoleh listrik DC dari bahan semikonduktor ketika memperoleh cahaya. Selama bahan semikonduktor menerima cahaya maka sel surya akan tetap menghasilkan energi listrik, dan jika tidak mengeluarkan energi listrik berarti sel surya

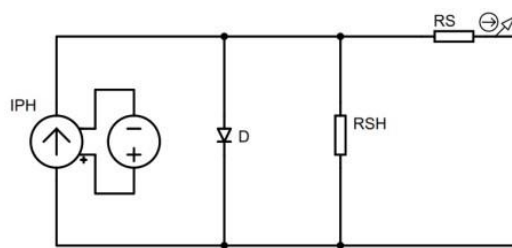
tidak terkena cahaya [4]. Singkatnya, sel surya terdiri dari sambungan bahan semikonduktor jenis P dan N P-N junction semikonduktor yang bila disinari cahaya matahari akan menimbulkan aliran elektron, aliran elektron ini disebut aliran arus listrik [5].

Rangkaian ekivalen PV bisa digambarkan sebagai resistansi parallel, resistansi seri dan sumber arus diode ideal. Arus searah yang diperoleh dari sumber arus ideal merupakan setara dengan iradiasi cahaya yang diterima PV. Resistansi seri serta paralel menggambarkan arus bocor selama sepanjang jalur sel dan penurunan nilai tegangan sejauh hingga kontak terminal luar [6]. Dari rangkaian ekivalen ini, persamaan arus keluaran dirumuskan sebagai persamaan berikut:

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

Keterangan:

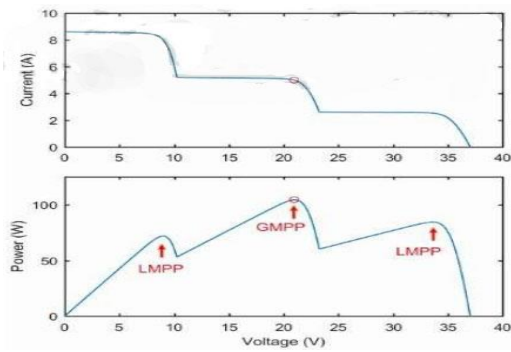
- I_{ph} : Arus foton (A)
- $I_{s,0}$: Arus balik saturasi (A)
- V : Tegangan keluaran sel surya (V)
- a : Faktor dioda ideal *fotovoltaiik*
- V_t : tegangan *thermal* (V)
- R_s : Resistor seri (W)
- R_{sh} : Resistor paralel (W)



Gambar 2. Rangkaian Ekuivalen PV

Karakteristik keluaran modul seperti besarnya tegangan serta arus yang dihasilkan tergantung banyaknya sel surya dalam suatu modul. Adapun faktor-faktor yang menentukan keluaran energi suatu modul ialah faktor internal antara lain: umur modul, teknologi sel surya yang digunakan, orientasi modul, jumlah modul. Sedangkan faktor eksternal ialah: musim, kebersihan modul, keberadaan awan, suhu kerja modul, serta iradiasi matahari yang tergantung letak geografis [7].

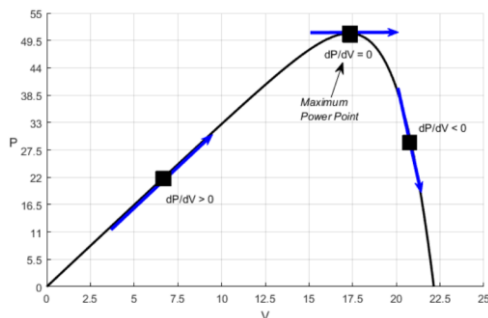
Timbulnya beberapa titik puncak daya yang disebut multiple *Maximum Power Point* (MPP) karena fotovoltaiik terjadinya shading atau adanya objek yang menghalangi sinar matahari. Besar dan banyaknya MPP tergantung dari seberapa besar efek shading yang terjadi serta topologi fotovoltaiik. **Gambar 3** menunjukkan contoh kurva karakteristik I-V dan P-V dengan beberapa puncak daya.



Gambar 3. Kurva karakteristik I-V dan P-V dengan beberapa puncak daya

B. MPPT

Salah satu metode untuk melacak titik daya keluaran sistem panel surya yang optimal ialah *Maximum Power Point Tracker* (MPPT). Prinsip kerja MPPT adalah membaca setiap titik keluaran kurva karakteristik P-V pada panel surya. Agar panel surya selalu mencapai titik daya *maximum*, digunakan sebuah kendali MPPT yang beroperasi untuk mengubah titik kerja sehingga *converter* memaksa panel bekerja sesuai kemampuannya [8].



Gambar 4. karakteristik MPPT Pada Kurva P-V

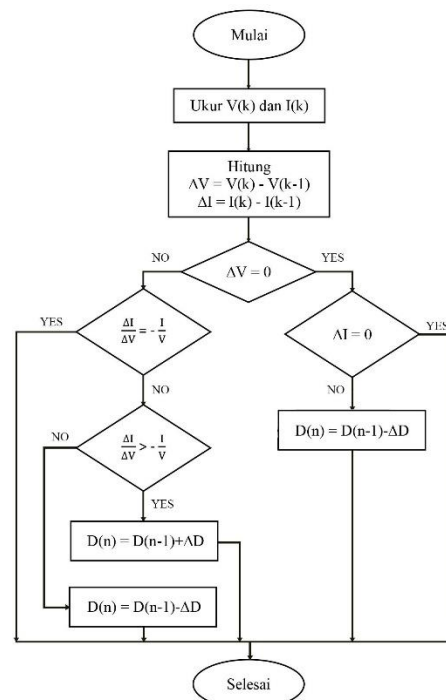
Dalam penerapan algoritma IC, P&O, dan GMPPD sama-sama menggunakan arduino uno sebagai kendali untuk menentukan nilai *duty cycle* atau PWM. Agar mampu melacak titik daya *maximum* (MPP) dalam berbagai kondisi, ketiga algoritma ini memiliki cara kerja yang berbeda.

Algoritma IC akan mengamati nilai tegangan dan arus, jika mengalami perubahan maka algoritma IC akan menghitung pada tegangan dan arus tersebut sebagai acuan untuk mengatur *duty cycle*-nya dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\frac{dp}{dv} = 0 \quad \text{sehingga pada MPP, } \frac{dI}{dv} = -\frac{I_{pv}}{V_{pv}} \quad (2)$$

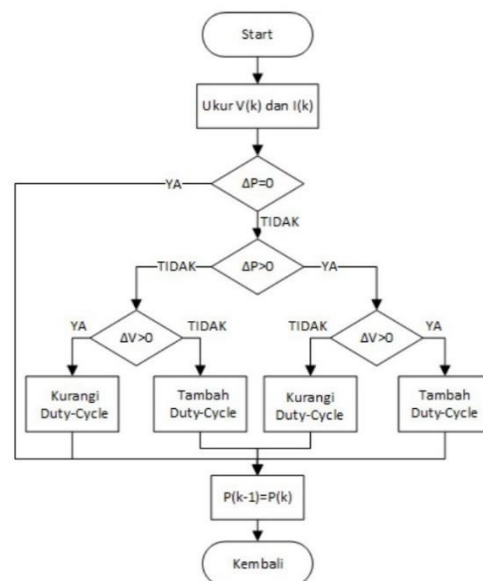
$$\frac{d(V \cdot I)}{dv} = \frac{V \cdot dI + dV \cdot I}{dv} \quad \text{bagian kiri MPP, } \frac{dI}{dv} > -\frac{I_{pv}}{V_{pv}} \quad (3)$$

$$V \frac{dI}{dv} + I = 0 \quad \text{bagian kanan MPP, } \frac{dI}{dv} < -\frac{I_{pv}}{V_{pv}} \quad (4)$$



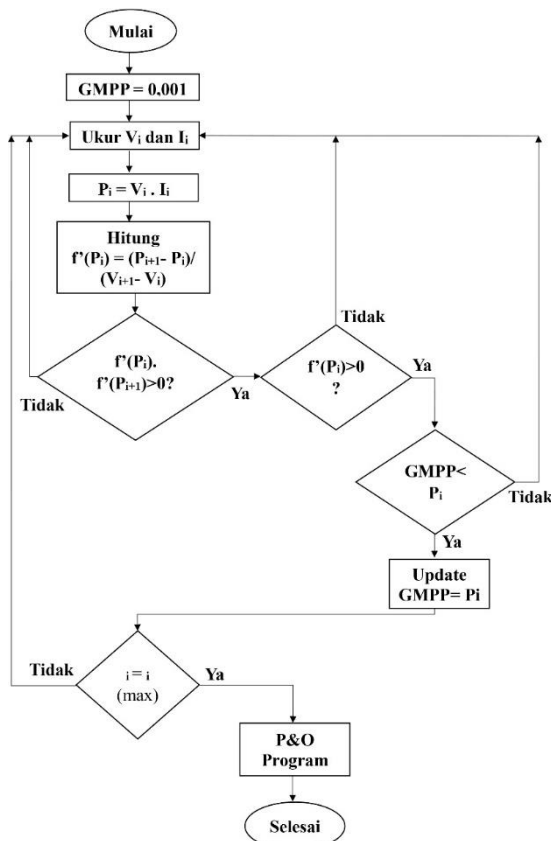
Gambar 5. Flowchart Algoritma IC

Berbeda dengan algoritma IC, algoritma P&O mengamati perubahan nilai daya dan tegangan sebagai acuan untuk mengatur *duty cycle*.



Gambar 6. Flowchart Algoritma P&O

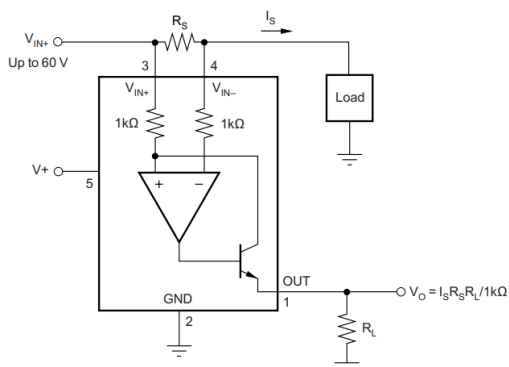
Sedangkan algoritma GMPPD mencari nilai daya tertinggi, algoritma ini akan mengamati perubahan pada nilai daya sebagai acuan untuk mengatur *duty cycle*-nya, kemudian selanjutnya menjalankan kerja algoritma P&O.



Gambar 7. Flowchart Algoritma GMPPD

C. Sensor Arus dan Tegangan

Sensor INA169 ialah modul sensor yang dipakai pada suatu rangkaian untuk membaca tegangan dan arus. Dalam penelitian ini sensor INA169 hanya digunakan untuk mengukur arus. Dalam pengukuran input common-mode dan power-supply tegangan sensor ini mampu membaca tegangan dari 2,7 V hingga 60 V. Sensor INA169 bekerja mengubah tegangan input diferensial menjadi arus output. Kemudian, arus diubah kembali menjadi tegangan melalui resistor eksternal (R_L) yang terhubung ke GND (Ground) dari rangkaian. Ini berguna untuk mengukur arus saluran melalui ADC (*Analog Digital Conversion*) atau perangkat lain [9].

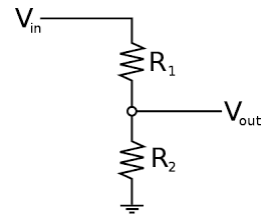


Gambar 8. Skematik Sensor Arus (INA169)

Untuk mengukur tegangan 0-50 Volt dan tegangan untuk dikirim ke Arduino Uno R3

yaitu 0-5 Volt, diperlukan sensor tegangan yang dibuat dari rangkaian pembagi tegangan. Dalam pembuatannya resistor disusun secara seri. Dengan menggunakan resistor 180 KΩ sebagai R_1 dan R_2 20 KΩ. Nilai V_{out} dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

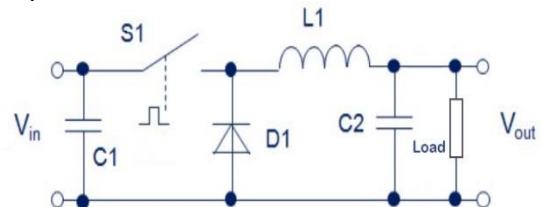
$$V_{out} = \frac{V_{in} \times R_2}{(R_1 + R_2)} \quad (5)$$



Gambar 9. Skematik Sensor Tegangan

D. Buck Converter

Buck Converter merupakan salah satu jenis *converter* yang mampu merubah *output* tegangan DC menjadi nilai tegangan yang lebih rendah dari nilai tegangan *inputnya* [10]. Hasil V_{out} nya mempunyai polaritas yang sama dengan V_{in} -nya. *Converter buck* juga dikenal sebagai *step-down converter*, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 10**. Adapun beberapa komponen yang digunakan pada rangkain ini ialah (C_1 dan C_2) kapasitor, (S_1) saklar, (D_1) dioda, (L_1) induktor dan beban resistor. Dalam proses *switchingnya* harus menggunakan saklar yang responnya cepat seperti saklar semikonduktor *mosfet*.



Gambar 10. Rangkaian Buck Converter

E. Arduino Uno R3

Dalam penerapan algoritma MPPT IC, P&O dan GMPPD dibutuhkan arduino uno sebagai kendali untuk menentukan nilai *duty cycle* atau PWM.

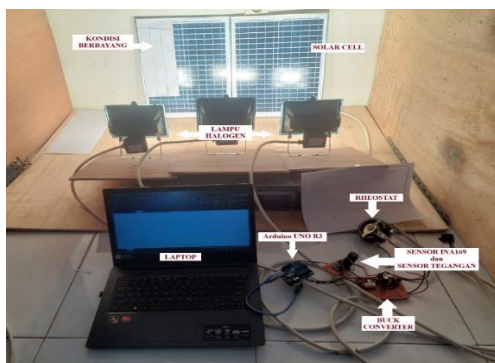
Dengan Adaptor AC-DC, baterai atau dihubungkan ke komputer dengan kabel USB untuk menghidupkan Arduino Uno R3. Arduino ini merupakan papan dari sebuah mikrokontroler berbasis ATmega328 yang mempunyai 14 pin (I/O) digital, 6 pin input analog, 6 pin yang bisa digunakan output PWM, header ICSP, memakai crystal 16 MHz, tombol reset, colokan adaptor serta colokan USB, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 11** [11].



Gambar 11. Arduino Uno R3

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam proses pengujian, peneliti melakukan pengujian di dalam laboratorium Fakultas Teknik Jurusan Elektro, Universitas Islam Malang, dengan kertas sebagai pengganti kondisi berbayang dan lampu halogen yang digunakan sebagai pengganti cahaya matahari, seperti yang ditunjukkan **Gambar 12**.



Gambar 12. Instalasi Penelitian

A. Hasil Pengujian Sensor

Rangkaian pembagi tegangan yang digunakan sebagai sensor tegangan untuk mengukur tegangan panel surya pada algoritma MPPT. Adapun hasil pengujian akurasi sensor tegangan seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 1** di bawah ini:

Tabel 1. Hasil Pengujian Sensor Tegangan

No	Multimeter (V)	Sensor Tegangan (V)	MAPE%
1	10,81	10,63	1,61
2	15,06	14,85	1,38
3	20,16	19,94	1,07
4	24,84	24,61	0,9
Mean Absolut Percentage Error (MAPE)			1,24

Hasil pengujian di atas menunjukkan bahwa pembacaan sensor tegangan mendekati nilai yang diukur menggunakan multimeter dengan berbagai nilai input yang memperoleh nilai MAPE sebesar 1,2%.

Sensor INA169 yang digunakan untuk mengukur arus panel surya pada algoritma MPPT. Adapun hasil pengujian akurasi sensor INA169 seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 2** di bawah ini:

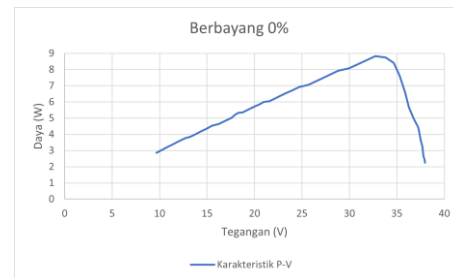
Tabel 2. Hasil Pengujian Sensor INA169

No	Multimeter (mA)	INA169 (mA)	MAPE%
1	113,91	114,04	1,12
2	158,63	165	4,01
3	212,1	223,5	5,34
4	260,7	277,4	6,38
Mean Absolut Percentage Error (MAPE)			4,21

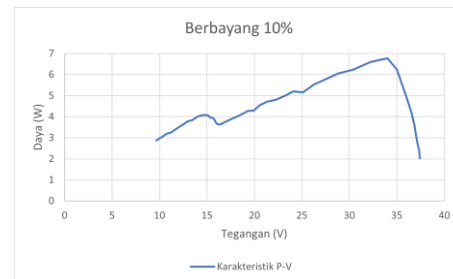
Hasil pengujian dengan berbagai nilai input di atas menunjukkan bahwa pembacaan sensor INA169 memperoleh nilai MAPE sebesar 4,21%.

B. Karakteristik PV

Dalam kondisi berbayang 0% dan berbayang 10%, pada pengujian sistem PV diimplementasikan untuk melacak titik daya maximum (MPP) sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 13** dan **Gambar 14** di bawah ini:



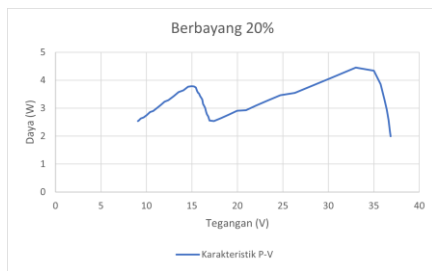
Gambar 13. Karakteristik P-V Berbayang 0%



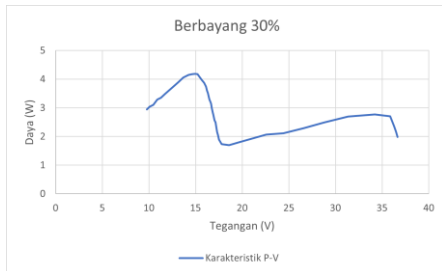
Gambar 14. Karakteristik P-V Berbayang 10%

Hasil pengeluaran menunjukkan bahwa kondisi berbayang 0% memperoleh titik daya maximum yaitu sebesar 8,82 Watt. Sedangkan kondisi berbayang 10% sudah mulai menampilkan puncak ganda dengan daya yang diperoleh pada puncak pertama yaitu sebesar 4,08 Watt. Sedangkan puncak kedua memperoleh daya sebesar 6,78 Watt, namun titik daya maximum (MPP) sudah menurun dibanding kondisi berbayang 0%.

Hasil pengujian sistem PV dalam kondisi berbayang 20% dan berbayang 30% yang diimplementasikan untuk melacak titik daya maximum (MPP) sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 15** dan **Gambar 16** di bawah ini:



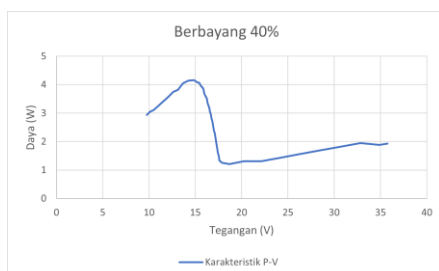
Gambar 15. Karakteristik P-V Berbayang 20%



Gambar 16. Karakteristik P-V Berbayang 30%

Hasil pengukuran ini tidak sama dengan hasil pengukuran sebelumnya, karena dalam kondisi berbayang 20% dan 30% menampilkan puncak ganda namun berbagai kondisi ini menunjukkan bahwa titik daya *maximum* (MPP) menurun dibanding kondisi sebelumnya. Dalam kondisi berbayang 20% memperoleh titik daya *maximum* sebesar 4,45 Watt dan dalam kondisi berbayang 30% memperoleh daya sebesar 4,19 Watt.

Sedangkan pengujian sistem PV dalam kondisi berbayang 40% dan berbayang 50% yang diimplementasikan untuk melacak titik daya *maximum* (MPP) sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 17** dan **Gambar 18** di bawah ini:



Gambar 17. Karakteristik P-V Berbayang 40%

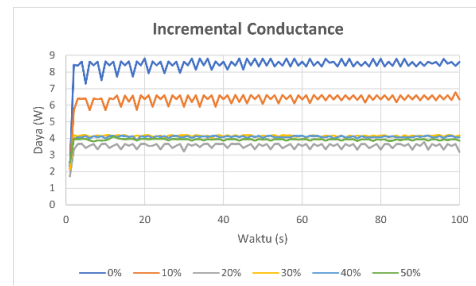


Gambar 18. Karakteristik P-V Berbayang 50%

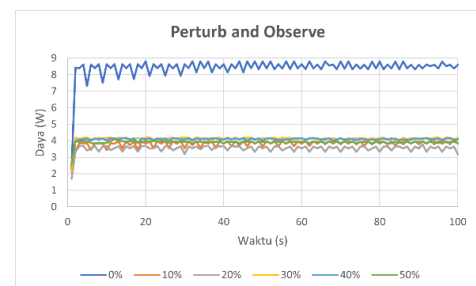
Hasil pengukuran ini menunjukkan bahwa titik daya *maximum* (MPP) menurun dibanding kondisi sebelumnya. Dalam kondisi berbayang 40% memperoleh titik daya *maximum* yaitu sebesar 4,16 Watt dan dalam kondisi berbayang 50% memperoleh titik daya *maximum* sebesar 4,12 Watt.

C. Perbandingan Grafik Daya

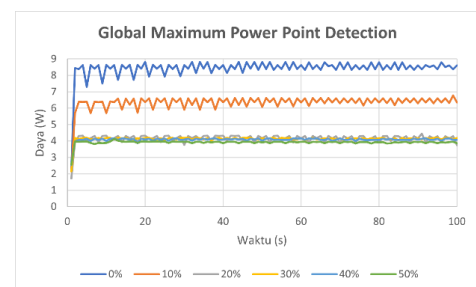
Adapun hasil perbandingan daya antara algoritma MPPT IC, P&O dan GMPPD seperti ditunjukkan pada gambar di bawah ini:



Gambar 19. Grafik Daya MPPT Algoritma IC kondisi Berbayang 0%-50%



Gambar 20. Grafik Daya MPPT Algoritma P&O kondisi Berbayang 0%-50%



Gambar 21. Grafik Daya MPPT Algoritma GMPPD kondisi Berbayang 0%-50%

Seperti pada **Gambar 19**, **Gambar 20** dan **Gambar 21** di atas menunjukkan bahwa dalam kondisi berbayang 20% MPPT algoritma IC memperoleh pelacakan titik daya maximum yang rendah dibanding kondisi berbayang 30%. MPPT algoritma P&O dalam kondisi berbayang 10% dan 20% memperoleh pelacakan titik daya maximum yang rendah dibanding kondisi berbayang 30%. Sedangkan MPPT algoritma GMPPD dalam semua kondisi memperoleh pelacakan titik daya maximum

yang sama seperti pada karakteristik PV yang digunakan.

D. Perbandingan Pelacakan Titik Daya Maximum

Dalam tahap ini, diperlukan membandingkan antara titik daya *maximum* dari karakteristik PV dengan titik daya *maximum* (MPP) yang dihasilkan dari ketiga algoritma yaitu algoritma MPPT IC, P&O dan GMPPD. Adapun perbandingan pelacakan titik daya *maximum* (MPP) seperti ditunjukkan pada **Tabel 3** di bawah ini:

Tabel 3. Perbandingan Pelacakan Titik Daya Maximum

No	Kondisi	Karakteristik PV	MPPT		
			IC	P&O	GMPPD
1	Berbayang 0%	8,82	8,82	8,82	8,82
2	Berbayang 10%	6,78	6,78	4,08	6,78
3	Berbayang 20%	4,45	3,79	3,79	4,45
4	Berbayang 30%	4,19	4,19	4,19	4,19
5	Berbayang 40%	4,16	4,16	4,16	4,16
6	Berbayang 50%	4,12	4,12	4,12	4,12
	Rata-rata	5,42	5,31	4,86	5,42

Hasil perhitungan dalam semua kondisi di atas menunjukkan bahwa MPPT algoritma GMPPD memperoleh rata-rata pelacakan titik daya *maximum* (MPP) tertinggi yaitu sebesar 5,42 Watt, MPPT algoritma IC memperoleh rata-rata pelacakan titik daya *maximum* (MPP) sebesar 5,31 Watt, sedangkan MPPT algoritma P&O memperoleh rata-rata pelacakan titik daya *maximum* (MPP) terendah yaitu sebesar 4,86 Watt.

E. Hasil Perbandingan Perolehan Energi Listrik

Berdasarkan hasil pengujian di atas, perbandingan perolehan energi listrik panel surya dari ketiga algoritma yaitu algoritma MPPT IC, P&O dan GMPPD seperti ditunjukkan pada Tabel di bawah ini:

Tabel 4. Perolehan Energi Listrik Tenaga Surya MPPT algoritma IC

No	Incremental Conductance			
	Kondisi	Daya (W)	Waktu (s)	Energi (Wh)
1	Berbayang 0%	8,420	100	0,234
2	Berbayang 10%	6,347	100	0,176
3	Berbayang 20%	3,539	100	0,098
4	Berbayang 30%	4,125	100	0,115
5	Berbayang 40%	4,082	100	0,113
6	Berbayang 50%	3,912	100	0,109
7	Semua Kondisi	5,071	600	0,845

Berdasarkan **Tabel 4** di atas menunjukkan bahwa dalam semua kondisi MPPT algoritma IC memperoleh energi listrik yaitu sebesar 0,845 Wh.

Berbeda dengan perolehan energi listrik MPPT algoritma IC, seperti yang ditunjukkan tabel di bawah ini ialah perolehan energi listrik MPPT algoritma P&O.

Tabel 5. Perolehan Energi Listrik Tenaga Surya MPPT algoritma P&O

No	Perturb and Observe			
	Kondisi	Daya (W)	Waktu (s)	Energi (Wh)
1	Berbayang 0%	8,420	100	0,234
2	Berbayang 10%	3,828	100	0,106
3	Berbayang 20%	3,539	100	0,098
4	Berbayang 30%	4,125	100	0,115
5	Berbayang 40%	4,082	100	0,113
6	Berbayang 50%	3,912	100	0,109
7	Semua Kondisi	4,651	600	0,775

Berdasarkan **Tabel 5** di atas menunjukkan bahwa dalam semua kondisi MPPT algoritma P&O memperoleh energi listrik yaitu sebesar 0,775 Wh.

Adapun perolehan energi listrik MPPT algoritma GMPPD seperti yang ditunjukkan **Tabel 6** ialah sebagai berikut:

Tabel 6. Perolehan Energi Listrik Tenaga Surya MPPT algoritma GMPPD

No	Global Maximum Power Point Detection			
	Kondisi	Daya (W)	Waktu (s)	Energi (Wh)
1	Berbayang 0%	8,420	100	0,234
2	Berbayang 10%	6,347	100	0,176
3	Berbayang 20%	4,152	100	0,115
4	Berbayang 30%	4,125	100	0,115
5	Berbayang 40%	4,082	100	0,113
6	Berbayang 50%	3,912	100	0,109
7	Semua Kondisi	5,173	600	0,862

Berdasarkan **Tabel 6** di atas menunjukkan bahwa dalam semua kondisi MPPT algoritma GMPPD memperoleh energi listrik yaitu sebesar 0,862 Wh.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang diimplementasikan dengan menerapkan *Buck Converter*, peneliti menarik beberapa kesimpulan yaitu:

Berdasarkan hasil dari data pelacakan titik daya *maximum* dalam kondisi berbayang 0%-50% menunjukkan bahwa algoritma *Global Maximum Power Point Detection* memperoleh pelacakan titik daya *maximum* (MPP) tertinggi yaitu rata-rata sebesar 5,42 Watt dan memperoleh energi listrik tertinggi yaitu sebesar 0,862 Wh, hal ini menunjukkan bahwa MPPT algoritma *Global Maximum Power Point Detection* memiliki kerja yang baik karena mampu memperoleh pelacakan titik daya *maximum* yang sama seperti pada karakteristik PV yang digunakan.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Bayu and J. Windarta, "Tinjauan Kebijakan dan Regulasi Pengembangan PLTS di Indonesia," *J. Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 2, no. 3, pp. 123–132, 2021.
- [2] A. S. Pratiwi, S. D. 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)," vol. 9, no. 3, pp. 305–310, 2020.
- [3] E. T. Akinyemi, H. A. Abdulkareem, H. Bello, and U. F. Abdu-Aguye, "Technical Review of Partial Shading Detection and Global Maximum Power Point Tracking for Photovoltaic Systems Operated Under Shading Condition," *J. Sci. Technol. Educ.*, vol. 10, no. 2, pp. 283–293, 2022.
- [4] R. Dwidayanti, H. Gusmedi, and S. Ratna, "Optimasi Pengisian Daya Baterai Pada Panel Surya Menggunakan Maximum Power Point Tracking (MPPT)," *Electr. – J. Rekayasa dan Teknol. Elektro*, vol. 11, no. 1, pp. 21–31, 2017.
- [5] P. Harahap, "Pengaruh Temperatur Permukaan Panel Surya Terhadap Daya Yang Dihasilkan Dari Berbagai Jenis Sel Surya," *RELE (Rekayasa Elektr. dan Energi) J. Tek. Elektro*, vol. 2, no. 2, pp. 73–80, 2020.
- [6] D. C. Bani, M. Pujiantara, and H. Suryoatmojo, "MPPT Pada Sistem PV Menggunakan Algoritma Firefly dan Modified P&O dengan Konverter Hybrid Cuk terkoneksi ke Grid Satu Phasa di Bawah Kondisi Partial Shaded," *J. Tek. ITS*, vol. 5, no. 2, pp. B128–B134, 2016.
- [7] P.G.G.Priajana, I. N. S. Kumara, and I. N. Setiawan, "Grid Tie Inverter Untuk PLTS Atap Di Indonesia: Review Standar Dan Inverter Yang Compliance Di Pasar Domestik," *J. SPEKTRUM*, vol. 7, no. 2, pp. 62–73, 2020.
- [8] M. I. Fadriantama and R. M. S. Adinandra, "Analisis Perbandingan Kinerja Algoritme Perturb And Observe (P&O) Dan Incremental Conductance (IC) Pada Sistem Kendali Maximum Power Point Tracker (MPPT) Untuk Sistem Photovoltaic (PV) Paralel," *J. Chem. Inf. Model.*, pp. 1–6, 2018.
- [9] J. B. Silva, J. P. S. Simão, M. A. S. Cristiano, P. C. Nicolete, C. Heck, and K. S. Coelho, "A DC electric panel remote lab," *Int. J. Online Eng.*, vol. 12, no. 4, pp. 30–32, 2016.
- [10] A. S. Samosir, N. I. Tohir, and A. Haris, "Rancang Bangun Catu Daya Digital Menggunakan Buck Converter Berbasis Mikrokontroler Arduino," *Jur. Tek. Elektro, Fak. Tek. Univ. Lampung*, vol. 11, no. 1, pp. 44–52, 2017.
- [11] R. Yahaya, R. I. Z. R. Z. Hashim, and M. Mustaffa, "Photovoltaic Low Voltage DC-DC Buck Converter for Maximum Power Point Tracker (MPPT)," *Politek. Kolej Komuniti J. Eng. Technol.*, vol. 6, no. 1, pp. 1–16, 2021.