

# Penggunaan Algoritma *Incremental Conductance* pada MPPT dengan *Buck Converter* untuk Pengujian *Indoor* dan *Outdoor*

SRI UTAMI, SITI SAODAH, APIP PUDIN

Jurusan Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung  
Email : utamiwu@yahoo.com

*Received* 25 Oktober 2017 | *Revised* 8 Desember 2017 | *Accepted* 28 Januari 2018

## ABSTRAK

*Panel surya menghasilkan energi sesuai dengan kondisi cuaca yang diterimanya. Untuk menaikkan energi yang dihasilkan sel surya sesuai dengan kondisi optimalnya digunakanlah Maximum Power Point Tracker (MPPT) yang dapat menggunakan algoritma berbeda. Penelitian ini menggunakan algoritma Incremental Conductance (keluarga Hill Climbing) yang dibangun pada sistem dengan menggunakan Arduino Uno R3. Mikrokontroler mengkondisikan DC-DC buck converter untuk mengekstraksi daya keluaran sel surya serta menyesuainya untuk penyimpanan. MPPT meregulasi pulse width modulation (PWM) untuk mengatur sinyal pada konverter hingga kondisi :  $dI/dV + I/V = 0$  terpenuhi. Sistem yang dibangun dapat dilihat performansinya di dalam ruangan (menggunakan artificial light) maupun di luar ruangan (menggunakan iradiasi matahari). Validasi sistem menggunakan metode ini pada MPPT-nya memberikan performansi yang lebih baik. Sistem konvensional menghasilkan daya 0.60W dengan irradisasi 432 W/m<sup>2</sup> dan beban 10 Ω. Dengan beban yang sama sistem MPPT menggunakan algoritma yang diusulkan memberikan daya keluaran sebesar 17.61W dengan iradiasi yang sama*

**Kata kunci:** sel surya, MPPT, incremental conductance

## ABSTRACT

*Photovoltaic generates energy according to the received weather condition. To increase the energy produced by solar cell corresponding with optimum condition, system used Maximum Power Point Tracker (MPPT) that can use several different algorithms. This research proposed Incremental Conductance built on the system using Arduino Uno R3. The controller determined DC-DC buck converter condition to extract solar cell output and adjust for storage purposes . MPPT regulated pulse width modulation (PWM) to determine signal in DC-DC converter until condition:  $dI/dV+I/V=0$  is fulfilled. Performances of the system can be seen in indoor (using artificial light) or outdoor (using solar irradiation). System validation using proposed method provided better performance. The conventional system produced 0.60W with 432 W/m<sup>2</sup> irradiation and 10 Ω load. Using same load and irradiation, system with Incremental Conductance provided output 17.61W*

**Keywords:** solar cell, MPPT, incremental conductance

## 1. PENDAHULUAN

Penggunaan energi surya oleh *photovoltaic* menawarkan sumber energi yang ramah lingkungan. Nilai efisiensi konversi energi *solar cell* merupakan kunci dasar panel surya untuk mengekstraksi energi dan mengirimkannya ke beban. Peningkatan daya yang dihasilkan oleh sistem pembangkit dipengaruhi oleh nilai efisiensi tersebut. Sehingga akan mempengaruhi biaya yang harus dibayarkan oleh konsumen dan diharapkan menjadi lebih murah untuk tiap kWh energi yang dihasilkan. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi efisiensi, antara lain efisiensi panel surya (8% - 15%) (**International Energy Agency, 2010**), efisiensi inverter (95% - 98%) (**SMA Product Catalogue, 2010**) dan *Maximum Power Point Tracker* ( $\pm 98$ ) (**Piegari dan Rizzo, 2010**).

Ketergantungan terhadap teknologi serta kebutuhan akan komponen yang mempunyai spesifikasi tinggi berakibat sulitnya meningkatkan efisiensi *solar panel* dan *inverter*. Karena hal ini akan berimplikasi terhadap kenaikan biaya serta instalasinya. Sedangkan peningkatan efisiensi melalui *Maximum Power Point Tracker* (MPPT) dengan mengimplementasikan algoritma berbeda pada sistem kontrolnya cenderung lebih mudah dilakukan serta tidak memerlukan perubahan sistem pembangkit surya yang sudah berjalan.

Kurva karakteristik arus-tegangan sel surya merupakan rujukan untuk peningkatan nilai efisiensi karena kurva ini tergantung pada nilai iradiasi serta suhu yang diterima oleh panel surya. Titik optimal operasi setiap modul berbeda tergantung pada spesifikasi masing-masing panel. Titik ini dikenal sebagai *Maximum Power Point* (MPP) dan selalu berubah sesuai dengan iradiasi matahari dan temperatur (**Amara dkk, 2014**). Titik operasi MPPT tidak mudah untuk dijaga tetap dalam kondisi maksimal sehingga diperlukan algoritma MPPT untuk menyelesaikan permasalahan ini. Beberapa algoritma yang digunakan telah ditinjau oleh Jaiswal dan Mahor (**Jaiswal dan Mahor, 2014**).

Salah satu algoritma yang digunakan untuk menemukan nilai MPP dan meminimalkan variasi tegangan adalah *Fuzzy Logic* (**Chin dkk, 2011**). Penelitian ini dilakukan dengan mensimulasikan sistem pembangkit surya yang dioptimasi keluarannya menggunakan *buck-boost converter*. Penggunaan algoritma yang sama juga dilakukan oleh Shabaninia (**Shabaninia dkk, 2014**). Penelitian ini dilakukan dengan membandingkan *array* konvensional dan hasilnya menunjukkan bahwa algoritma yang dipilih dapat menjaga daya puncak panel sedangkan nilai puncak yang bervariasi tetap dimiliki oleh sistem konvensional.

*Hill Climbing* merupakan salah satu algoritma yang banyak digunakan karena kemudahannya. Seperti yang digunakan oleh Ravindran dan Sutaria dalam penelitiannya yang menggunakan *solar cell* 10 W menggunakan ARM Cortex-M3 32 bit mikrokontroler (**Ravindran dan Sutaria, 2016**). Dalam penelitian lain, Priananda dan Sulistyowati (**Priananda dan Sulistyowati, 2015**) menggunakan algoritma ini dalam simulasinya yang digunakan untuk menganalisis panel surya statik.

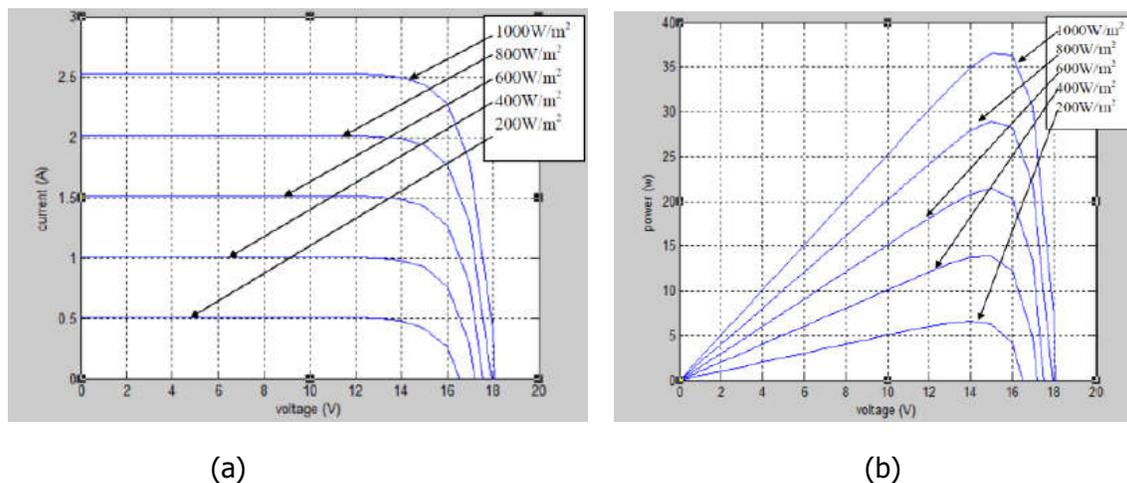
Penelitian ini mengadopsi kontroler MPPT menggunakan Arduino Uno R3 yang mengimplemenetasikan algoritma *Incremental Conductance* pada *off grid photovoltaic system*. Kontroler yang digunakan tidak mengubah sistem yang sudah terbangun dan dimaksudkan untuk menaikkan nilai daya keluarannya. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Energi Baru Terbarukan dan merupakan kelanjutan dari penelitian sebelumnya yang telah dilakukan dengan menggunakan algoritma *Perturb and Observe* (**Utami, 2017**). Penggunaan algoritma *Incremental Conductance* diharapkan mampu menghasilkan optimasi yang lebih baik dibandingkan dengan algoritma sebelumnya yang sudah digunakan.

Sistem yang diusulkan dapat diuji performansinya di dalam maupun di luar ruangan. Pengujian di dalam ruangan menggunakan *artificial light* sedangkan untuk pengujian di luar ruangan merupakan pengujian dengan iradiasi matahari. Dengan adanya pengujian di dalam ruangan ketergantungan terhadap kondisi cuaca dapat diminimalkan. Untuk melihat performansi sistem, baik untuk pengujian di dalam maupun di luar ruangan, sistem yang diusulkan dibandingkan dengan pengujian panel surya tanpa MPPT (sistem konvensional).

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

### 2.1 Karakteristik *Photovoltaic*

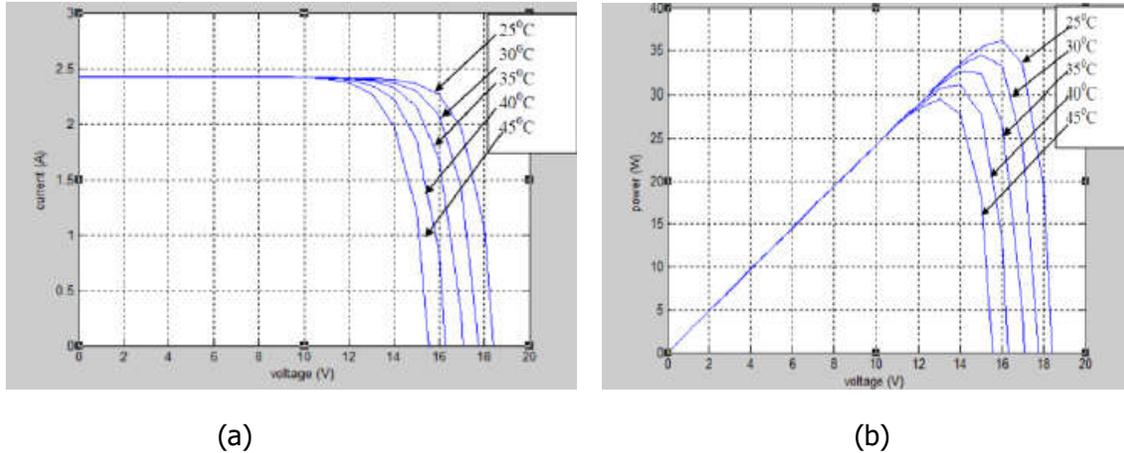
Karakteristik panel surya merupakan fungsi *non-linear* tegangan dan arus terhadap temperatur dan intensitas cahaya yang diterimanya (**Qin dan Lu, 2012**). Hubungan antara *output* dan temperatur serta iradiasi matahari seperti yang diilustrasikan oleh Gambar 1 dan 2 secara berurutan. Grafik tersebut menunjukkan daya keluaran panel surya sesuai dengan iradiasi yang diterimanya. Selain iradiasi, nilai temperatur juga mempunyai peranan pada daya keluaran panel surya. Untuk kedua nilai, iradiasi dan temperatur, sel surya mempunyai daya maksimum yang disebut sebagai *Maximum Power Point* (MPP).



**Gambar 1. (a) Karakteristik I-V Panel Surya dengan Variasi Iradiasi dan Temperatur yang Sama, (b) Karakteristik P-V Panel Surya dengan Iradiasi Berbeda dan Temperatur Konstan (Shukla dkk, 2015)**

Kurva karakteristik I-V dan P-V sangat tergantung pada nilai iradiasi matahari yang diterimanya seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 1. Arus yang dihasilkan meningkat seiring dengan meningkatnya nilai iradiasi (Gambar 1 (a)) dan menyebabkan meningkatnya daya keluaran panel surya (Gambar 1 (b)).

Selain iradiasi matahari, suhu juga berpengaruh terhadap karakteristik panel surya. Gambar 2 menunjukkan karakteristik I-V dan P-V untuk suhu yang bervariasi dengan nilai iradiasi konstan. Pada kondisi tersebut arus yang dihasilkan mempunyai nilai hampir konstan untuk nilai temperatur yang bervariasi. Untuk kenaikan nilai suhu panel, nilai tegangan dan daya keluaran panel surya keduanya menurun. Hasil ini mengkonfirmasi sifat *non-linear* modul *photovoltaic*.



**Gambar 2. (a) Karakteristik I-V Panel Surya dengan Variasi Temperatur dan Iradiasi yang Sama, (b) Karakteristik P-V Panel Surya dengan Temperatur Berbeda dan Iradiasi Konstan (Shukla dkk, 2015)**

### 2.2 Maximum Power Point Tracker (MPPT)

Untuk tiap nilai iradiasi dan temperatur yang diterima sel surya terdapat nilai daya maksimum yang dihasilkan. Metode untuk men-tracking nilai tersebut disebut sebagai *Maximum Power Point Tracker* (MPPT). Keuntungan penggunaan MPPT ini salah satunya adalah cepat terpenuhinya keadaan *equilibrium photovoltaic*. Kondisi ini merupakan terpenuhinya nilai daya yang diperlukan oleh beban dari daya yang dihasilkan oleh panel surya (Priandana dan Sulistyowati, 2015).

Komponen yang diperlukan dalam penentuan nilai MPPT ini ada dua (2) yaitu: arus (I) dan tegangan (V). Keduanya nilai ini akan membentuk nilai daya yang dihasilkan oleh panel surya. Untuk masing-masing temperatur dan iradiasi yang diterima terdapat nilai MPP yang berbeda. Diperlukan implementasi metode yang tepat untuk memperoleh nilai daya maksimum panel surya tersebut.

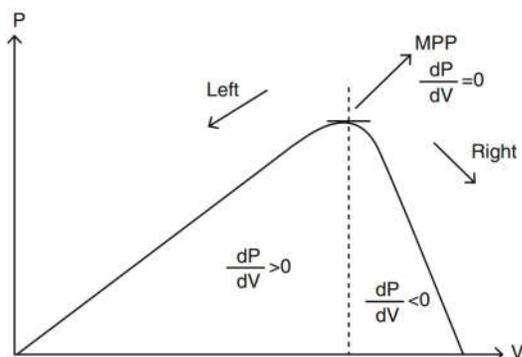
### 2.3 Incremental Conductance

Algoritma *Incremental Conductance* seperti ditunjukkan oleh Gambar 3. Sisi sebelah kiri menggambarkan *incremental conductance* dan sisi kanan menggambarkan *instantaneous conductance*. Metode ini membutuhkan sensor tegangan dan arus yang menunjukkan keluaran panel surya. Tegangan maksimum yang dihasilkan ketika daya maksimum adalah  $V_{mpp}$  dan nilai tersebut selalu berubah sesuai dengan nilai intensitas matahari. Nilai gradien kurva sama dengan nol pada saat titik maksimum kurva P-V (Tito, 2012). Sehingga dari grafik pada Gambar 3 diperoleh:

$$\frac{dP}{dV} = 0 \quad \text{Sehingga pada MPP, } \frac{dI}{dV} = -\frac{I_{pv}}{V_{pv}} \quad (1)$$

$$\frac{d(V \cdot I)}{dV} = \frac{V \cdot dI + dV \cdot I}{dV} \quad \text{Sebelah kiri MPP, } \frac{dI}{dV} > -\frac{I_{pv}}{V_{pv}} \quad (2)$$

$$V \frac{dI}{dV} + I = 0 \quad \text{Sebelah kanan MPP, } \frac{dI}{dV} < -\frac{I_{pv}}{V_{pv}} \quad (3)$$



**Gambar 3. Diagram Skematik Penjejak menggunakan Metode *Incremental Conductance* (Sumathi dkk, 2015)**

Nilai *pulse width modulation* (PWM) merupakan nilai yang diregulasi oleh MPPT untuk selanjutnya digunakan untuk mengatur *signal* pada *DC-DC converter* sehingga kondisi  $dI/dV + I/V = 0$  dapat terpenuhi.

## 2.4 Konverter DC-DC

Dalam penelitian ini konverter DC-DC mengubah tegangan DC ke tegangan DC lain dengan level yang ditentukan. Keluaran konverter ini dapat divariasikan tergantung pada kebutuhan. Konverter ini bertindak sebagai *load* elektrik dan menyebabkan variasi *output*-nya. Perubahan titik operasi sel surya dapat menghasilkan nilai keluaran maksimum yang disebabkan oleh variasi beban tersebut. Konverter yang digunakan adalah *buck converter* untuk menyesuaikan dengan penurunan nilai tegangan pada keluaran yang dibutuhkan.

## 2.5 Spesifikasi Sistem

Sistem yang dibangun dalam penelitian ini terdiri dari 3 proses yaitu: pengukuran nilai tegangan dan arus panel surya, mengoptimasikan daya keluaran panel surya menggunakan *Incremental Conductance* dalam MPPT-nya serta penggunaan beban untuk mengetahui validasi sistem yang diusulkan.

### 2.5.1 Panel Surya

*Solar cell* yang digunakan merupakan *solar cell* yang tersedia di Laboratorium Energi Baru Terbarukan yaitu Showa Arco Solar (FE) Pty. Ltd yang mempunyai spesifikasi sebagaimana yang disajikan oleh Tabel 1.

**Tabel 1. Spesifikasi *solar cell***

<b>Solar cell for I = 1000W/cm<sup>2</sup> dan T = 25°C</b>	
Daya Maksimum	49 Watt
Tegangan <i>open-circuit</i>	19 Volt
Arus <i>short-circuit</i>	3.27 Ampere
Arus pada daya maksimum	3.06 Ampere
Tegangan pada daya maksimum	16 Volt
Jumlah <i>cell</i>	33

### 2.5.2 Sensor yang Digunakan

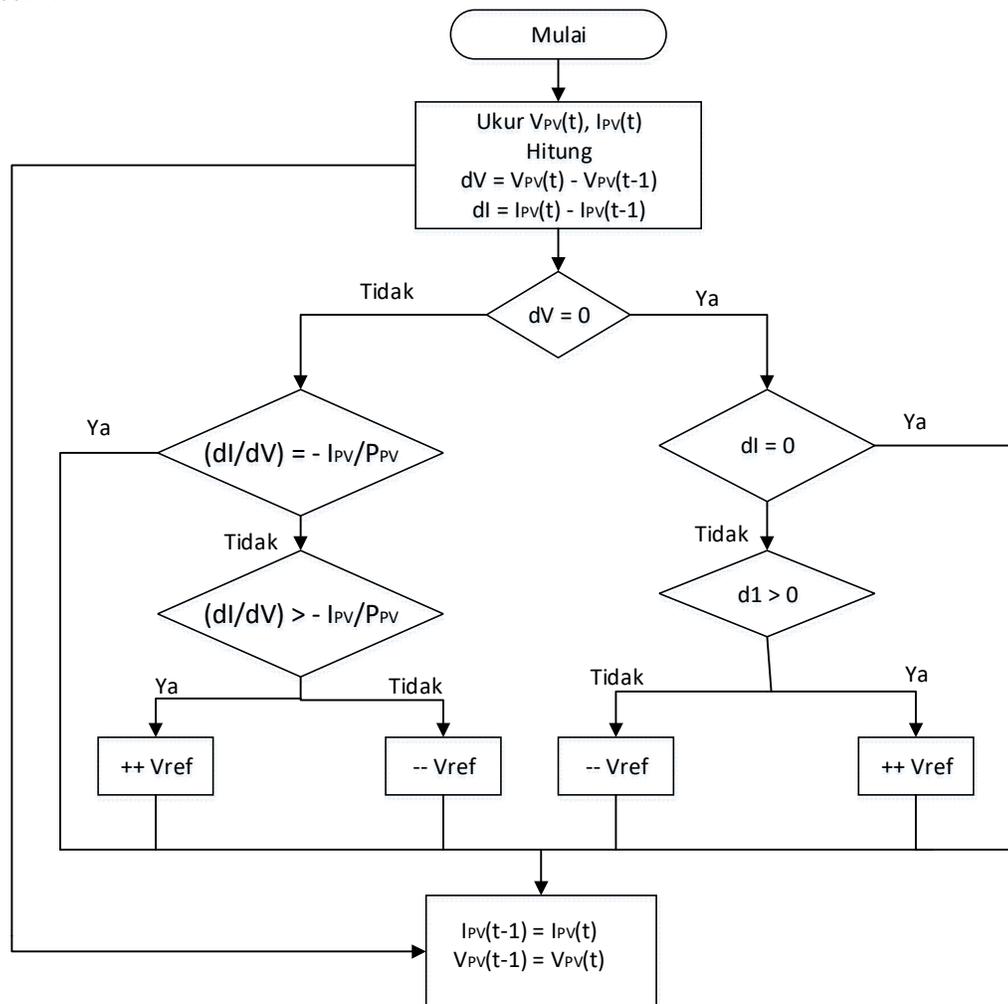
ACS712-20A merupakan sensor arus yang digunakan sedangkan untuk sensor tegangan digunakan pembagi tegangan. Pembagi tegangan ini menggunakan resistor 100kΩ dan 20kΩ yang akan menghasilkan nilai 0 V dengan input 0V dan 5V untuk tegangan masukan 30V.

### 2.5.3 Konverter *Buck*

Konverter yang digunakan merupakan tipe *buck* dengan keluaran yang diatur pada 12 V untuk keperluan media penyimpanannya.

### 2.6 Aplikasi *Incremental Conductance* pada Sistem

Implementasi algoritma ini memerlukan pengukuran tegangan dan arus yang dilakukan oleh sensor dan diletakkan di sel surya. Kedua data ini digunakan sebagai masukan mikrokontroler. ADC mikrokontroler menggunakan data tersebut untuk metode yang diusulkan. Untuk iterasi pertama nilai 0 diberikan sebagai *initial value*. Kemudian pengkondisian :  $dI/dV + I/V = 0$  dilakukan. Pengaturan dilakukan melalui *duty cycle*. Menggunakan nilai tegangan yang baru daya kemudian diukur, dibandingkan dan iterasi dimulai lagi. Algoritma ini seperti dijelaskan Gambar 4.

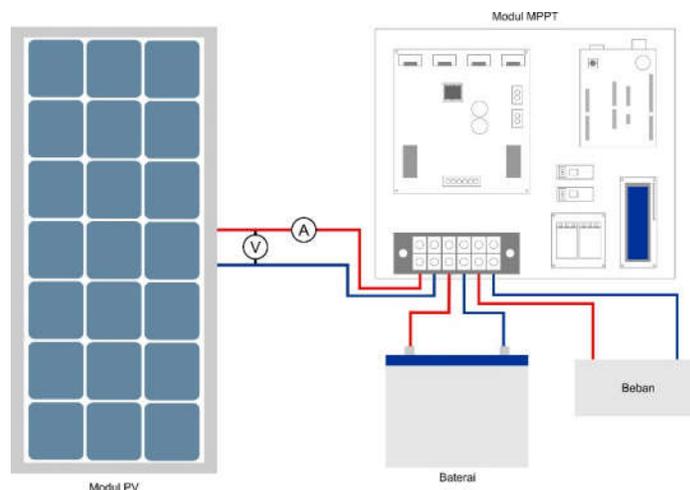


**Gambar 4. Flowchart Algoritma *Incremental Conductance***

Algoritma ini dimulai dengan pengukuran nilai tegangan dan arus dari panel surya sehingga akan diperoleh nilai dayanya. Nilai daya pengukuran saat ini dibandingkan dengan pengukuran daya sebelumnya. Jika selisih kedua pengukuran ini = 0 maka nilai tegangan, arus dan dayanya akan dijadikan nilai terbaru (*update*). Tetapi jika nilai selisih dayanya  $\neq 0$  maka akan diberikan penambahan dan pengurangan tegangan sesuai dengan tegangan referensi yang ditentukan. Dari tegangan yang baru ini akan didapatkan nilai daya terbaru.

## 2.7 Pengujian Sistem

Sistem diuji dengan mengintegrasikan beban ke dalam keseluruhan sistem untuk melihat performansinya. Tegangan dan arus panel surya diindikasi oleh sensor yang kemudian dibaca mikrokontroler untuk diolah menggunakan algoritma yang diusulkan. Keluaran panel surya yang merupakan hasil optimasi kemudian disalurkan menuju beban serta nilai tegangannya disesuaikan untuk keperluan penyimpanan. Daya keluaran panel surya yang sudah dioptimasi kemudian dibandingkan dengan sistem konvensional (tanpa MPPT dan algoritma pada kontrolernya).

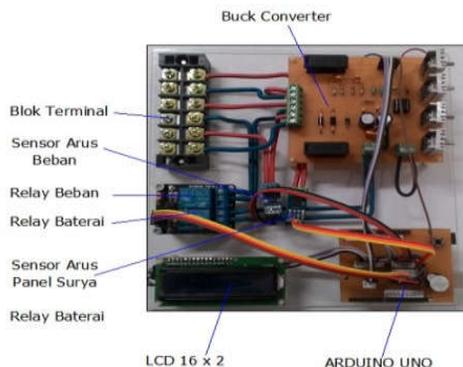


**Gambar 5. Konfigurasi pengujian sistem keseluruhan**

## 3. HASIL PENELITIAN

Pengujian dilakukan di Laboratorium Energi Baru Terbarukan Jurusan Teknik Konversi Energi. Evaluasi performansi dilakukan dengan menggunakan panel surya 49 Wp yang diintegrasikan dengan baterai dan beban yang terhubung dengan blok terminal MPPT. Beban yang digunakan divariasikan. Pengukuran iradiasi matahari menggunakan *pyranometer*. Realisasi rangkaian sebagaimana Gambar 6.

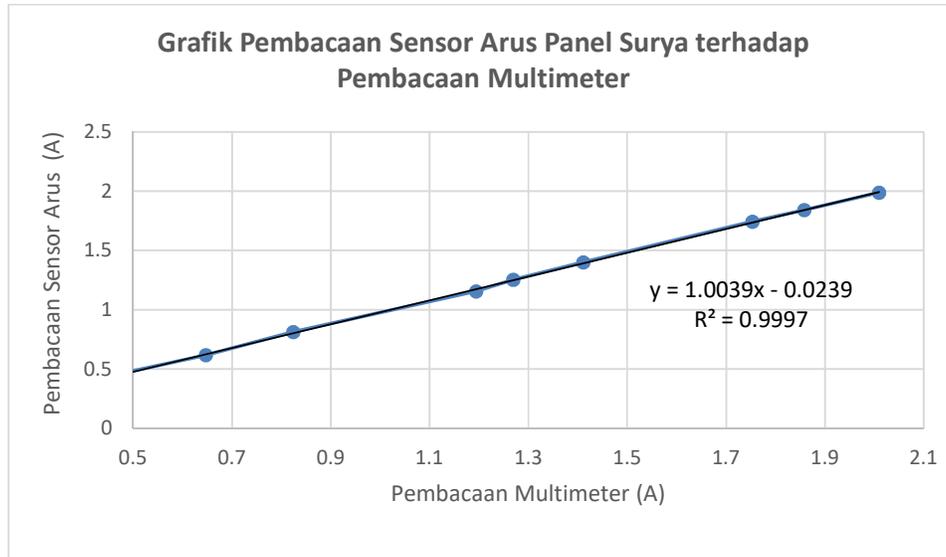
Sebelum pengujian sistem, dilakukan pengujian per blok untuk memvalidasi masing-masing komponen yang digunakan.



**Gambar 6. Rangkaian MPPT**

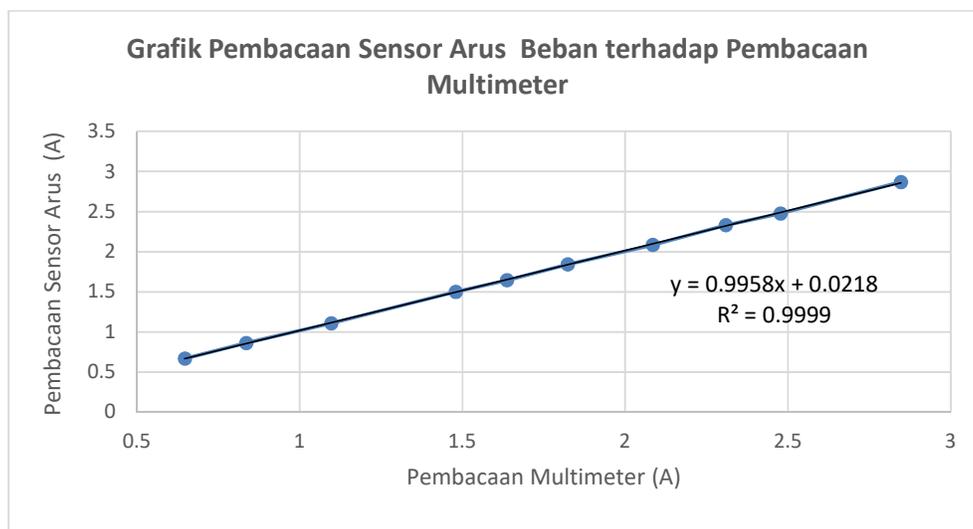
### 3.1 Sensor Arus Pada Sel Surya dan Load

Proses kalibrasi sensor dilakukan dengan memberikan nilai yang bervariasi dan perbandingan data yang terbaca di LCD dengan multimeter. Data yang diperoleh seperti pada Gambar 7 dan 8.



**Gambar 7. Grafik Pembacaan Sensor Arus Panel Surya terhadap Pembacaan Multimeter**

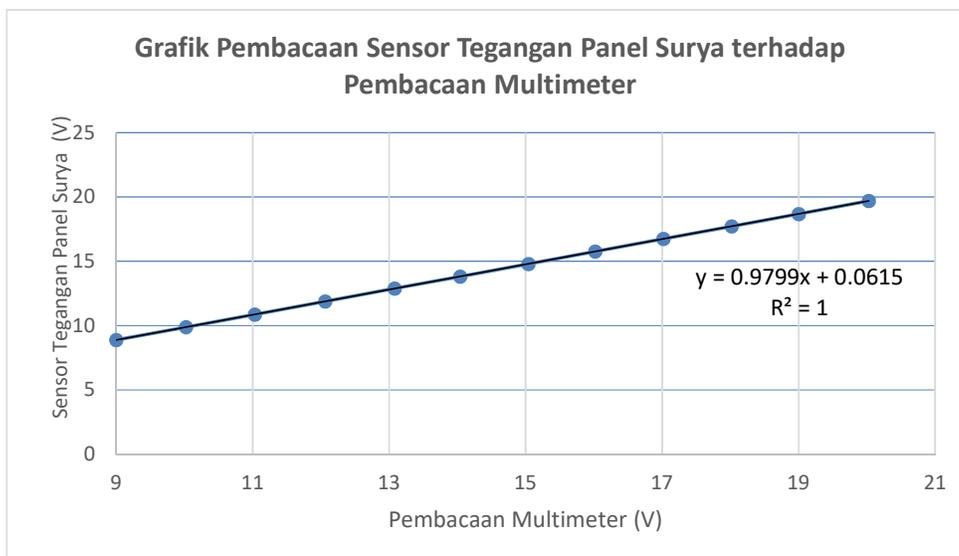
Pada pengujian modul sensor ini didapatkan hasil yakni rata-rata *error* pada arus panel surya dan arus beban masing-masing sebesar 2.46% dan -1.17%.



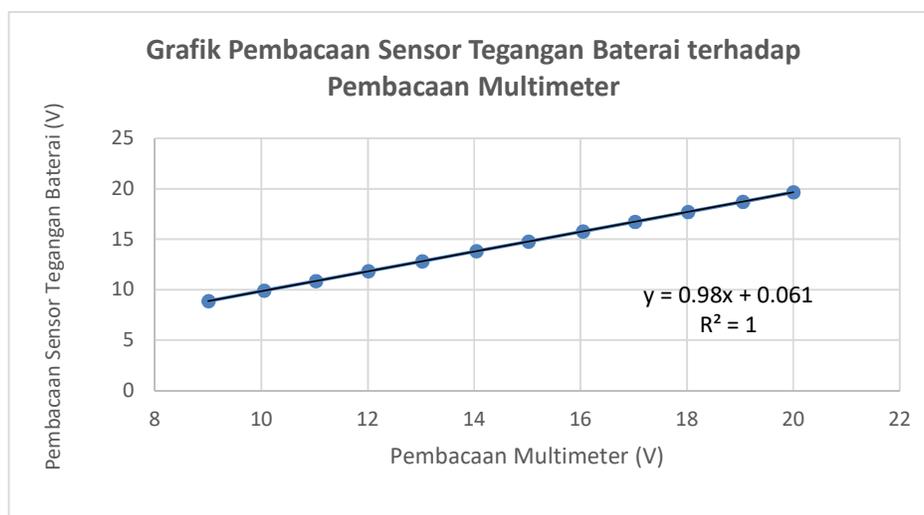
**Gambar 8. Grafik Pembacaan Sensor Arus Beban terhadap Pembacaan Multimeter**

### 3.2 Sensor Tegangan Panel Surya dan Load

Pengujian dilakukan dengan memvariasikan tegangan masukan untuk melihat performansi sensor. Data yang diperoleh sebagaimana pada Tabel 9 dan 10.



**Gambar 9. Grafik pembacaan sensor tegangan panel surya terhadap pembacaan multimeter**



**Gambar 10. Grafik Pembacaan Sensor Tegangan Baterai terhadap Pembacaan Multimeter**

Pada pengujian modul sensor ini didapatkan hasil yakni rata-rata *error* pada arus panel surya dan arus beban masing-masing sebesar 1.55% dan 1.55%.

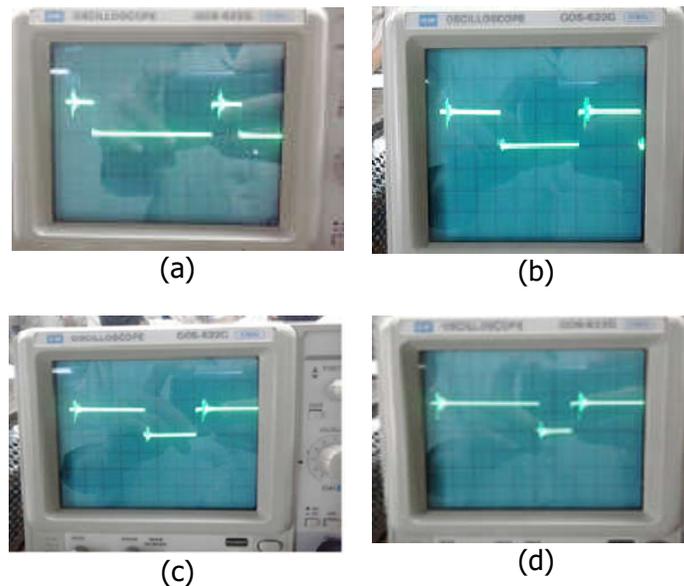
### 3.3. Pengujian *Buck Converter*

*Buck converter* digunakan untuk menurunkan level tegangan input dan memberikan keluaran yang stabil. Pengujian *buck converter* dilakukan dengan memberikan nilai yang tetap sebesar 12V dan hasilnya bisa diamati dengan variasi *duty cycle* yang diberikan. Tabel 2 merupakan

data pengujian yang sudah dilakukan. Gambar 11 memberikan data pengujian *buck converter* menggunakan *oscilloscope*.

**Tabel 2. Pengujian *buck converter***

No	$V_{out}$ (V)	$I_{out}$ (A)	$V_{in}$ (V)	$I_{in}$ (A)	$\eta$ (%)	Duty Cycle (%)
1	0.49	0.08	11.91	0.03	11.03	10
2	1.5	0.18	11.91	0.08	28.50	20
3	2.5	0.23	11.82	0.13	37.42	30
4	3.57	0.47	11.82	0.18	78.86	40
5	4.6	0.57	11.79	0.33	67.39	50
6	5.64	0.72	11.73	0.42	82.42	60
7	6.67	0.81	11.73	0.57	80.80	70
8	7.73	0.96	11.67	0.77	82.58	80
9	8.77	1.066	11.61	0.96	83.40	90
10	9.23	1.16	11.56	1.06	87.37	97



**Gambar 11. (a) Sampel *Duty Cycle* menggunakan  $D = 20\%$ ; (b)  $D = 50\%$ ; (c)  $D = 70\%$ ; (d)  $D = 90\%$**

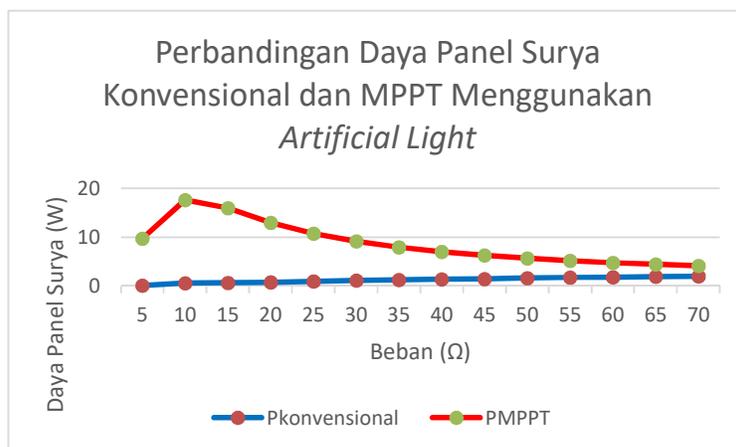
### 3.4 Pengujian Sistem

#### 3.4.1 Pengujian *Indoor* menggunakan *Artificial Light*

Pengujian MPPT variasi beban dengan simulasi lampu dilakukan dengan membandingkan daya yang dihasilkan panel surya saat terhubung langsung dengan daya yang dihasilkan panel surya saat terhubung dengan MPPT. Kedua pengujian dilakukan dengan kondisi yang sama agar perbedaan daya keluaran panel surya dengan dan tanpa MPPT dapat terlihat dengan jelas, kondisi yang dibuat sama adalah nilai iradiasi yang menuju permukaan panel surya di buat konstan menggunakan simulasi lampu. Besar iradiasi tersebut diatur dengan menggunakan sinar lampu pijar dengan total daya 810 W sebagai pengganti sinar matahari langsung menghasilkan iradiasi sebesar  $432\text{W/m}^2$ . Sedangkan variabel pengubah dari pengujian ini

adalah resistansi beban. Beban yang digunakan divariasikan antara  $5\Omega$  -  $70\Omega$ . Digunakan juga sebuah piranometer untuk mengukur nilai iradiasi yang dipancarkan oleh simulasi lampu.

Untuk daya yang dihasilkan Gambar 12 menunjukkan perbandingan antara sistem konvensional (tanpa MPPT) dengan sistem yang terkoneksi dengan MPPT. Gambar 11 juga menunjukkan daya yang dihasilkan oleh sistem dengan MPPT selalu lebih tinggi bila dibandingkan dengan sistem konvensional (tanpa MPPT).

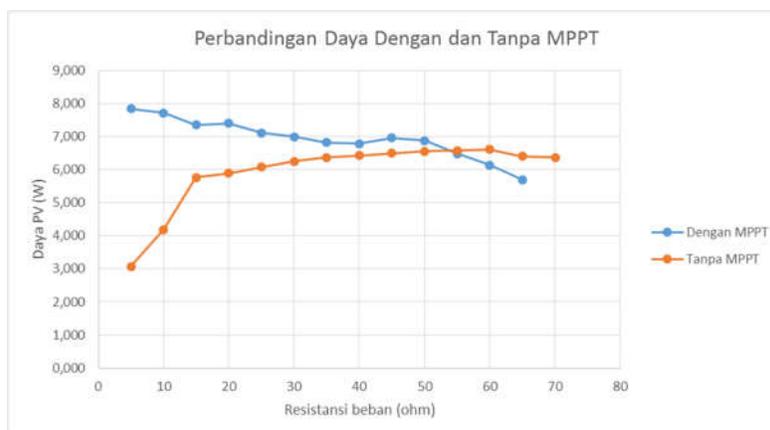


**Gambar 12. Perbandingan Daya yang Dihasilkan oleh Kedua Sistem**

Dari beban awal yang diberikan sebesar  $5\Omega$ , daya yang dihasilkan oleh sistem dengan MPPT menunjukkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan daya pada sistem konvensional. Perbedaan daya yang dihasilkan semakin besar untuk beban  $10\Omega$ . Untuk beban berikutnya, perbedaan daya yang dihasilkan oleh kedua sistem masih cukup signifikan tetapi cenderung menurun. *Trend* menurun menurun ini sesuai dengan beban terbesar yang diberikan yaitu  $70\Omega$ .

### 3.4.2 Pengujian *Outdoor* menggunakan Iradiasi Matahari

Pengujian *outdoor* dilakukan menggunakan matahari sebagai sumber iradiasinya. Nilai iradiasi yang digunakan tergantung pada kondisi lingkungan dan tidak dapat diprediksi.



**Gambar 13 Perbandingan Daya yang Dihasilkan oleh Sistem menggunakan MPPT dan tanpa MPPT (Konvensional)**

Perbandingan daya yang dihasilkan oleh kedua sistem seperti grafik pada Gambar 13. Nilai iradiasi yang digunakan berkisar antara  $97\text{W/m}^2 - 128\text{W/m}^2$ . Dari grafik Gambar 13 untuk beban  $5\Omega$  diperoleh daya yang berbeda dari kedua sistem. Perbedaan ini cukup signifikan untuk kedua sistem walaupun nilai iradiasinya tidak terlalu jauh berbeda (sistem konvensional dengan iradiasi  $120\text{W/m}^2$  dan sistem dengan MPPT dengan iradiasi  $117\text{W/m}^2$ ). Kecenderungan nilai yang dihasilkan menuju ke arah yang sama sampai pada beban  $55\Omega$  nilai daya yang dihasilkan berada pada titik yang hampir sama. Nilai pada titik ini dihasilkan ketika nilai iradiasi berada pada  $108\text{W/m}^2$  untuk sistem dengan MPPT dan  $128\text{W/m}^2$  untuk sistem tanpa MPPT. Daya yang dihasilkan sistem dengan MPPT terus menurun untuk beban yang lebih tinggi dan nilai iradiasi yang terus menurun dari  $108\text{W/m}^2$  sampai  $91\text{W/m}^2$ . Sedangkan untuk sistem tanpa MPPT daya yang dihasilkan mempunyai *trend* lebih tinggi dari sistem dengan MPPT tetapi dengan nilai iradiasi yang stabil di  $128\text{W/m}^2$ . Perbedaan nilai iradiasi ini sangat mempengaruhi daya yang dihasilkan oleh panel surya.

#### 4. KESIMPULAN

Dari pengujian yang telah dilakukan dapat diberikan kesimpulan dari penelitian ini:

1. Pada pengujian di dalam ruangan menggunakan *artificial light* untuk nilai beban yang sama, sistem dengan metode yang diusulkan dapat menaikkan nilai daya *output* panel surya dengan perbandingan daya keluaran panel surya menggunakan metode konvensional menghasilkan daya  $0.60\text{W}$  dengan iradiasi  $432\text{W/m}^2$  dan beban  $10\Omega$ . Dengan beban yang sama sistem MPPT menggunakan algoritma *Incremental Conductance* memberikan daya keluaran sebesar  $17.61\text{W}$  dengan iradiasi yang sama
2. Pada pengujian di luar ruangan dengan iradiasi matahari, daya keluaran yang dihasilkan tergantung pada iradiasi yang diterima panel surya. Untuk sistem tanpa MPPT menghasilkan daya keluaran sebesar  $7.84\text{W}$  dengan beban  $5\Omega$  dengan nilai iradiasi sebesar  $117\text{W/m}^2$ . Untuk sistem tanpa MPPT dengan nilai beban yang sama dan iradiasi sebesar  $120\text{W/m}^2$  menghasilkan daya keluaran sebesar  $3.07\text{W}$
3. Dengan nilai iradiasi yang bervariasi, sistem dengan MPPT menggunakan metode yang diusulkan dapat memberikan daya keluaran yang lebih tinggi dibandingkan dengan sistem konvensional (tanpa MPPT) untuk pengujian di dalam maupun di luar ruangan

Penelitian berikutnya dapat lebih difokuskan pada penentuan metode yang tepat untuk permasalahan osilasi yang terjadi pada saat pencarian nilai *Maximum Power Point* dari panel surya. Sehingga waktu pencarian titik optimum pada *solar cell* dapat lebih cepat pada kondisi iradiasi yang bervariasi.

#### DAFTAR RUJUKAN

- Amara,S., Bouallegue, A., & Khedher,A. (2014). *Theoretical and Practical Study of a Photovoltaic MPPT Algorithm Applied to Voltage Battery Regulation*. International Journal of Renewable Energy Research, 4(1).
- Chin,CS., Neelakantan,P., Yoong, HP., & Teo,KTK. (2011). *Optimisation of Fuzzy Based Maximum Power Point Tracking in PV System Rapidly Changing Solar Irradiance*. Transaction on Solar Energy and Planning. ISSN: 2229-8711 Online Publication, June .
- International Energy Agency. (2010). *Trends in photovoltaic applications. Survey report of selected IEA countries between 1992 and 2009*. Report IEA-PVPS Task 1 T1-19:2010.

- Jaiswal, P. & Mahor,A. (2014). *Review on MPPT Techniques in Solar Photovoltaic System*. International Journal of Advanced Technology in Engineering and Science, 2(7).
- Piegari, L., & Rizzo,R.(2010). *Adaptive perturb and observe algorithm for photovoltaic maximum power point tracking*. Renewable Power Generation, IET, 4(4), 317-328
- Priananda, CW., & Sulistyowati, R. (2015). *Analisis dan Simulasi Metode Hill Climbing untuk Maximum Power Point Tracker (MPPT) pada Photovoltaic*. Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan III Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya.
- Qin,L. & Lu,X. (2012). *Matlab/Simulink-Based Research on Maximum Power Point Tracking of Photovoltaic Generation*. International Conference on Applied Physics and Industrial Engineering
- SMA product catalogue . (2010). *Sunny Family 2010/2011 - The Future of Solar Technology*.
- Shabaninia,F., Molazemhosseini,M., & Abbasi, SH. (2014). *Voltage-MPPT Controller Design of Photovoltaic Array System Using Fuzzy Logic Controller*. Advances in Energy and Power 2(1), 1-6.
- Shukla,A., Khare,M., & Shukla, KN. (2015). *Modeling and Simulation of Solar PV Module on MATLAB/Simulink*. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, 4(1).
- Sumathi, L, Kumar, A., & Surekha,P. (2015). *Solar PV and Wind Energy Conversion Systems*. Cham: Springer
- Tito,B. (2012). *Metode MPPT Baru untuk Sel Surya Berdasarkan Pengendali PI*. Depok: Universitas Indonesia.
- Utami,S. (2017). *Implementasi Algoritma Perturb and Observe untuk Optimasi Daya Keluaran Solar Cell Menggunakan MPPT di Laboratorium Energi Baru Terbarukan*. Jurnal Infotel, 9(1).
- Utami,S. (2016). *Optimal Design of Renewable Energy System Using Genetic Algorithm Case Study in Parangtritis*. Elkomika, 4(2), 123 – 227.