

Implementasi Algoritma *Perturb and Observe* untuk Mengoptimasi Daya Keluaran *Solar Cell* Menggunakan MPPT

Studi Kasus di Laboratorium Energi Baru Terbarukan di Jurusan Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Bandung

Sri Utami

Jurusan Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung
Jl. Gegerkalong Hilir Ds. Ciwaruga, Bandung 40012
Email korespondensi: sri.utami@polban.ac.id

Dikirim 16 Januari 2017, Direvisi 4 Februari 2017, Diterima 13 Februari 2017

Abstrak – Energi yang dihasilkan oleh sel surya sangat bervariasi dan sangat bergantung pada kondisi cuaca. Untuk mengoptimalkannya, digunakan *Maximum Power Point Tracker*. Penelitian ini mengimplementasikan algoritma *Perturb and Observe* pada *Maximum Power Point Tracker* (MPPT) sebagai kontroler untuk pembangkitan energi surya. Sistem dibangun menggunakan Arduino Uno R3 untuk mengekstraksi daya maksimum panel surya. *Microcontroller* ini mengontrol *DC buck converter* dan digunakan untuk *charging* baterai 6 Volt. Metode ini beroperasi dengan memberi *perturbing* tegangan atau arus terminal *array* dan membandingkan daya yang dihasilkan dengan output panel surya. Diperlukan *perturbing* yang sesuai untuk mendapatkan nilai optimasi yang tepat. Validasi dari panel surya menggunakan metode yang diusulkan pada MPPT-nya memberikan performansi yang lebih baik dibuktikan pada nilai daya dan tegangannya. Menggunakan parameter *perturbation* 0.1, MPPT mampu mengoptimasi daya output panel surya sebesar 24.49 W dengan beban 5 Ω dan nilai irradiansi 523 W/m² dibandingkan dengan metode konvensional dengan beban sama dan nilai irradiansi sebesar 537 W/m² yang menghasilkan daya keluaran 15.37 W.

Kata kunci - sel surya, MPPT, *Perturb and Observe*, optimasi

Abstract - Photovoltaic systems produce very intermittent energy and highly dependent on the weather conditions. To optimize the power of solar cell, Maximum Power Point (MPP) is usually used. This project presented implementation of *Perturb and Observe* algorithm for Maximum Power Point Tracker (MPPT) as controller for solar power generator. Constructed system harnessed Arduino Uno R3 to extract maximum power of solar cell. Microcontroller controlled DC buck converter for storing the energy using 6 Volt battery. This method provided *perturbing* (increase or decrease), voltage or current of terminal array, and compared power produced with solar cell output power. Appropriate *perturbing* is necessary to receive the most optimal power. Validity of the photovoltaic module with P & O method allowed better performance of MPPT due to variation of both power and voltage. Using *perturbation* parameter 0.1 V for proposed method in the MPPT, solar panel was able to optimize power output up to 24.49 W using load 5 Ω in 523 W/m² irradiance level compared with conventional method using identical load and irradiance level 527 W/m² providing power output 15.37 W.

Keywords - solar cell; MPPT; *Perturb and Observe*; optimize

I. PENDAHULUAN

Sistem *photovoltaic* yang menggunakan energi surya menawarkan sumber energi yang ramah lingkungan. Kunci dasar *solar cell* adalah nilai efisiensi konversi energinya yang merupakan

kemampuan *converter*-nya untuk mengekstraksi energi dan mendistribusikannya kepada beban. Peningkatan nilai efisiensi ini akan mempengaruhi daya yang dibangkitkan oleh sistem dimana daya akan naik. Hal ini mempunyai efek pada biaya yang harus

dikeluarkan yang akan lebih murah untuk tiap kWh energi yang dihasilkan. Efisiensi sendiri dipengaruhi oleh tiga faktor: efisiensi solar panel (8% - 15%) [1], efisiensi inverter (95% - 98%) [2] dan efisiensi *Maximum Power Point Tracker* ($\pm 98\%$) [3].

Peningkatan efisiensi *solar panel* dan *inverter* tidak biasa dilakukan dikarenakan ketergantungan terhadap teknologi yang tersedia dan memerlukan komponen dengan spesifikasi yang lebih tinggi yang akan menaikkan biaya instalasi. Sementara itu improvisasi efisiensi melalui *Maximum Power Point Tracker* (MPPT) menggunakan algoritma pada kontrolnya lebih mudah dilakukan, tidak mahal serta dapat diaplikasikan pada generator *solar cell* yang sudah ada tanpa merubah sistem.

Peningkatan nilai efisiensi ini merujuk pada kurva karakteristik arus-tegangan sel surya yang tergantung pada nilai irradiansi dan temperatur yang diterimanya. Setiap modul memiliki titik operasi optimalnya masing-masing yang dikenal dengan *Maximum Power Point* (MPP). Karakteristik *Maximum Power Point* ini akan berubah sesuai dengan sinar matahari dan temperatur [4]. Ketergantungan terhadap cuaca menjadikan *Maximum Power Point Tracker* (MPPT) tidak mudah untuk menjaga titik operasi tetap dalam kondisi maksimal dengan mengacu pada kurva karakteristik tegangan-daya yang juga bervariasi. Untuk menyelesaikan permasalahan ini, beberapa algoritma MPPT diajukan sebagaimana yang telah direview oleh Jaiswal dan Mahor [5]. Kesadaran untuk menggunakan sumber energi baru terbarukan menjadikan algoritma untuk MPPT ini menjadi sangat penting.

Salah satu algoritma yang sering digunakan adalah *Hill Climbing*. Dalam penelitiannya Ravindran dan Sutaria mengimplementasikan algoritma ini pada *solar cell* 10 W menggunakan ARM Cortex-M3 32 bit *microcontroller* [6]. Algoritma ini juga digunakan oleh Priananda dan Sulistyowati [7] untuk mensimulasikan dan menganalisa panel surya *static*.

Algoritma *Fuzzy Logic* digunakan untuk mengoptimasi daya keluaran solar cell menggunakan *buck-boost converter* [8]. Penelitian ini menggunakan simulasi untuk menunjukkan bahwa algoritma ini mempunyai kemampuan untuk memfasilitasi MPP dan meminimalkan variasi tegangannya. Penelitian yang dilakukan lain juga menggunakan algoritma yang sama dan membandingkannya dengan *array* konvensional [9]. Hasil simulasi menunjukkan bahwa algoritma ini dapat menjaga daya puncak panel sementara sistem konvensional memiliki nilai titik puncak yang sangat bervariasi.

Algoritma *Perturb and Observe* berdasarkan pada proses regulasi tegangan panel surya dengan penambahan *set point* optimal yang merepresentasikan tegangan pada titik maksimal (MPP) telah digunakan oleh Mankar dan Moharil [10]. Dalam penelitiannya mengimplementasikan metode ini dalam simulasi

menggunakan Matlab/Simulink dengan memberikan nilai radiasi matahari yang berbeda [10]. Simulasi lain juga dilakukan oleh Chaitanya dkk dengan memberikan fungsi *self-tuning* yang akan menambahkan tegangan referensi *array* nilai tegangan untuk *step size*-nya dalam mencapai nilai *maximum power point* (MPP)-nya [11]. Simulink juga digunakan oleh Yatimi dan Aroudani untuk memodelkan dan mengevaluasi performansi *stand-alone photovoltaic system* yang disimulasikan menggunakan Simulink [12]. Penelitian yang sama juga dilakukan dengan mensimulasikan implementasi *interlaved boost converter* pada MPPT yang digunakan untuk sistem *photovoltaic* [13].

Setiap sistem kontrol yang digunakan dalam penelitian yang dilakukan mempunyai kelebihan serta kekurangannya masing-masing, khususnya yang berhubungan dengan kondisi sinar matahari yang mempunyai perubahan sangat cepat [14]. Untuk pengaplikasian *hardware* dan *software* pada masing-masing algoritma merupakan sebuah tantangan tersendiri. Pemilihan tipe *hardware* dan *software* akan membedakan aktualisasi dari algoritma yang diusulkan. Selain itu, hal tersebut juga akan membedakan biaya yang dibutuhkan untuk masing-masing kontroler itu sendiri.

Penelitian ini mengimplementasikan kontroler MPPT berdasarkan Arduino Uno R3 menggunakan algoritma *Perturb and Observe* pada *stand alone photovoltaic system*. Kontroler yang dibangun dimaksudkan untuk menaikkan nilai keluaran daya sel surya tanpa merubah sistem yang sudah ada di Laboratorium Energi Baru Terbarukan. Sistem yang diusulkan terdiri dari: *stand alone solar cell*, kontroler, *charge regulator*, media penyimpanan dan beban.

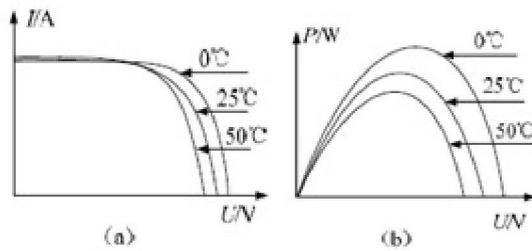
Algoritma yang diusulkan diadopsi pada MPPT menggunakan Arduino Uno R3 yang dimanfaatkan untuk pengisian baterai. Mikrokontroler mengatur regulator melalui pengaturan *duty cycle* berdasarkan algoritma pada MPPT-nya. Verifikasi dilakukan dengan menguji kontroler pada *stand alone photovoltaic system* kemudian dibandingkan dengan sistem konvensional.

Pengujian sistem dilakukan di Laboratorium Energi Baru Terbarukan di Jurusan Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Bandung. Sistem ini dibangun untuk menunjang pembelajaran mata kuliah Pembangkit Listrik Tenaga Alternatif yang salah satunya menggunakan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Pengimplementasian sistem ini diharapkan dapat memperkaya pengetahuan dosen dan mahasiswa di dalam pemanfaatan serta konservasi energi baru terbarukan.

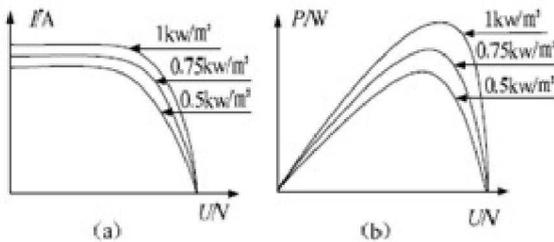
II. METODE PENELITIAN

A. Karakteristik Keluaran Solar Cell

Daya keluaran solar cell merupakan fungsi *non-linear* terhadap temperatur dan intensitas cahaya [15]. Gambar 1 dan 2 menunjukkan hubungan antara temperatur terhadap daya *output* dan intensitas terhadap daya keluaran solar cell. Gambar 2 mengilustrasikan daya keluaran sel surya naik sesuai dengan nilai intensitas cahaya yang diterimanya. Untuk nilai temperatur dan irradiasi yang berbeda, masing-masing daya keluaran maksimum akan diperoleh dan diketahui sebagai *Maximum Power Point* (MPP).



Gambar 1. Karakteristik Arus-Tegangan Dan Daya-Tegangan Sel Surya Untuk Temperatur Yang Berbeda [11]



Gambar 2. Karakteristik Arus-Tegangan Dan Daya-Tegangan Sel Surya Untuk Nilai Intensitas Yang Berbeda [11]

Gambar 1 dan 2 mengilustrasikan karakteristik daya keluaran sel surya selalu berubah sesuai dengan temperatur dan intensitas cahaya yang diterimanya. Untuk mencapai daya keluaran maksimum untuk setiap kondisi yang bervariasi, panel surya dapat mengadopsi kontroler *Maximum Power Point* (MPP).

B. Maximum Power Point Tracker (MPPT)

Maximum Power Point Tracker (MPPT) merupakan sebuah metode untuk menentukan titik dimana daya maksimum dihasilkan oleh panel surya. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Priananda dan Sulistyowati [7], salah satu keuntungan penggunaan MPPT adalah cepat terpenuhinya kondisi *equilibrium photovoltaic* untuk kondisi yang diperlukan oleh beban dan yang dapat dipenuhi panel surya.

MPPT memerlukan dua komponen pendukung dalam pengoperasiannya: arus input (I) dan tegangan input (V). Dua komponen ini dikombinasikan untuk mendapatkan nilai daya P seperti pada persamaan (1).

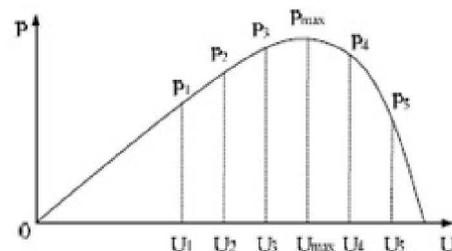
$$P = V \times I \tag{1}$$

Dalam kondisi temperatur dan irradiasi berbeda, diperoleh nilai MPP yang berbeda. Metode yang tepat diperlukan untuk memperoleh nilai daya maksimum yang dihasilkan oleh panel surya.

C. Metode Perturb and Observe

Dalam penelitiannya Morale melaporkan metode *Perturb and Observe* terdiri dari dua tahapan [16]: (1) *perturb*, mengirimkan perubahan kepada tegangan atau arus referensi solar cell (2) *observe*, melakukan penghitungan daya yang disebabkan oleh *perturb*-nya. Perbandingan daya sebelum dan sesudah proses *perturb* dilakukan digunakan sebagai acuan untuk menambah atau mengurangi tegangan untuk langkah berikutnya dan mendapatkan nilai MPP-nya.

Dalam penelitian yang dilakukannya, Francis dkk menggunakan algoritma ini dan memulainya dengan mengukur tegangan $V(k)$ dan arus $I(k)$ untuk memperoleh $P(k)$ [17]. *Perturb* $d(V)$ diberikan untuk meng-*observe* nilai daya *output* $P(k+1)$. Nilai $P(k+1)$ kemudian dibandingkan dengan nilai $P(k)$. Jika nilai $P(k+1)$ lebih besar dibandingkan $P(k)$ dapat disimpulkan bahwa nilai *perturb* yang dilakukan adalah benar. Sebaliknya jika nilai $P(k+1)$ lebih kecil dari $P(k)$ maka *perturb* harus dilakukan dalam arah sebaliknya. Dengan demikian nilai *Maximum Power Point* (MPP) dapat diperoleh. Langkah-langkah dalam metode *Perturb and Observe* ini seperti yang diilustrasikan oleh Gambar 3.



Gambar 3. Diagram skematik penjejak menggunakan metode Perturb and Observe [11]

D. DC-DC Converter

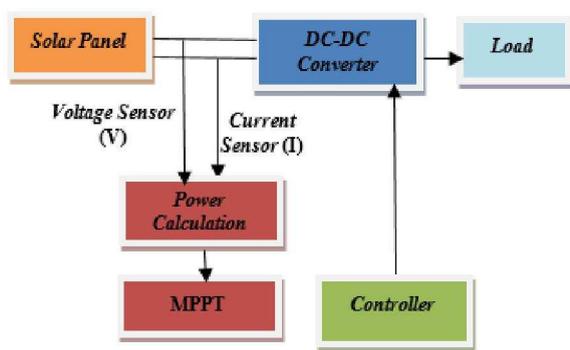
DC-DC converter merupakan *device* elektronik yang merubah tegangan DC ke tegangan DC lain yang berbeda level dan biasanya mengeluarkan *output* teregulasi. Model *switch DC-DC converter* beroperasi dengan menyimpan energi *input* sementara kemudian melepaskannya dalam bentuk tegangan atau arus di dalam level yang tidak sama. Konverter ini dapat dibandingkan dengan *transformer* karena keduanya memiliki karakteristik yang mirip dalam merubah energi *input* dan menjadikannya berbeda dalam level impedansinya. Konverter ini biasanya ditemukan dalam peralatan elektronik seperti *handphone* atau *notebook*. Dalam penelitian ini konverter ini bertindak sebagai *load* elektrik yang dapat memvariasikan keluarannya. Variasi beban ini dapat menyebabkan perubahan titik operasi sel surya (karakteristik arus-tegangannya) sehingga dapat menghasilkan nilai keluaran maksimum.

Boost-converter digunakan untuk menjadi *gain* dari tegangan masukan dan menghasilkan keluaran yang nilainya lebih tinggi sedangkan *buck-converter* menjadikan masukan yang tinggi menjadi keluaran yang lebih rendah nilainya. Untuk *buck-boost converter* sendiri digunakan jika memerlukan keluaran yang lebih besar atau kecil dari *input*-nya.

E. Blok Diagram Sistem

Sistem yang digunakan sebagaimana diilustrasikan oleh Gambar 4 yang terdiri dari beberapa bagian:

- (1) Panel surya
- (2) Beban
- (3) MPPT
- (4) Kontroler
- (5) DC-DC converter



Gambar 4. Blok Diagram Sistem

Penelitian ini terdiri dari tiga proses pokok yaitu mengukur tegangan dan arus *solar cell*, mengoptimasi keluaran panel solar menggunakan metode *Perturb and Observe* dalam MPPT-nya dan pemasangan beban untuk dilakukan pengujian sistem.

Sistem yang diajukan menggunakan *buck converter* yang digunakan untuk menurunkan level tegangan masukan. Konverter diatur oleh kontroler dan keluaran yang dihasilkan dioptimasi menggunakan metode P&O. Masukan berupa arus dan tegangan panel surya dan keluaran berupa *duty-cycle buck converter* yang divariasikan menggunakan *switch*. Metode *perturb and observe* ini dapat mengontrol *solar cell* untuk menghasilkan tegangan keluaran maksimumnya.

F. Identifikasi Panel Surya

Panel surya yang digunakan adalah *Showa Arco Solar (FE) Pty. Ltd* yang datanya seperti disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Solar Cell

Solar cell for $I = 1000W/cm^2$ dan $T = 25^{\circ}C$	
Maximum Power	49 Watt
Open-circuit voltage	19 Volt
Short-circuit current	3.27 Ampere
Current at maximum power	3.06 Ampere
Voltage at maximum power	16 Volt
Number of cells	33

G. Sensor Arus

Sensor arus yang digunakan adalah ACS712-20A yang diproduksi oleh *Allegro Micro Systems*.

H. Sensor Tegangan

Sensor tegangan panel surya merupakan pembagi tegangan yang menggunakan resistor 100KΩ dan 20 KΩ. Keluaran sensor mempunyai nilai 0 V untuk input 0V dan 5V untuk masukan 30V.

I. Buck Converter

Komponen *buck converter* yang digunakan untuk baterai 6V seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Komponen Penyusun Buck Converter

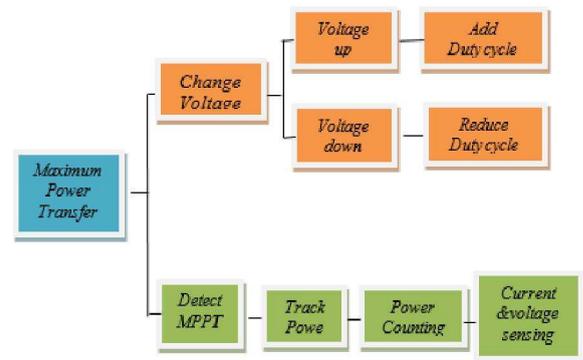
Buck Converter	
Mosfet Driver	IR2104
Switching transistor	MOSFET RFZ44N
Frequency	50000 Hz
Inductor	33 μH
Capacitor	220 μF

J. Media Penyimpanan

Media penyimpanan yang digunakan berupa baterai 6V.

K. Implementasi MPPT

MPPT yang diimplementasikan ke dalam sistem sebagaimana diilustrasikan oleh Gambar 5.



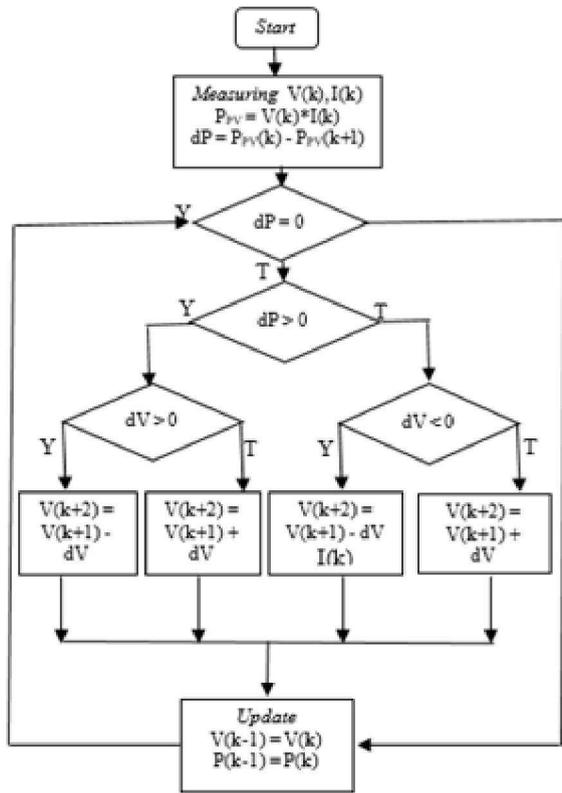
Gambar 5. Implementasi MPPT

Transfer daya maksimum (*Maximum Power Transfer*) merupakan tujuan dari keseluruhan sistem yaitu kemampuan untuk membangkitkan daya maksimum. Perubahan tegangan dan pendeteksian MPPT merupakan cara bagaimana MPPT dihasilkan. Detil operasinya terdiri dari dua bagian: (1) konversi tegangan (2) deteksi dimana titik maksimum dihasilkan. Agar memiliki kemampuan untuk memodifikasi tegangan, MPPT menaikkan atau menurunkan tegangan dengan merubah *duty cycle*. Untuk mendeteksi titik kerja maksimum dilakukan dengan *tracking* daya yang dihasilkan yang didapatkan dari sensor tegangan dan arusnya.

L. Implementasi Algoritma Perturbe and Observe

Implementasi *Perturbe and Observe* dilakukan dengan 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 *Perturbe and Observe* diaplikasikan dan dilakukan penghitungan daya dan perbandingan dengan daya sebelumnya. Pengaturan dilakukan melalui *duty cycle*. Menggunakan nilai tegangan yang baru daya kemudian diukur, dibandingkan dan iterasi dimulai lagi. Algoritma ini seperti dijelaskan Gambar 6.



Gambar 6. Flowchart algoritma Perturb and Observe

Algoritma ini dimulai dengan pengukuran nilai tegangan 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 *perturb* tegangan ini didapatkan nilai daya terbaru.

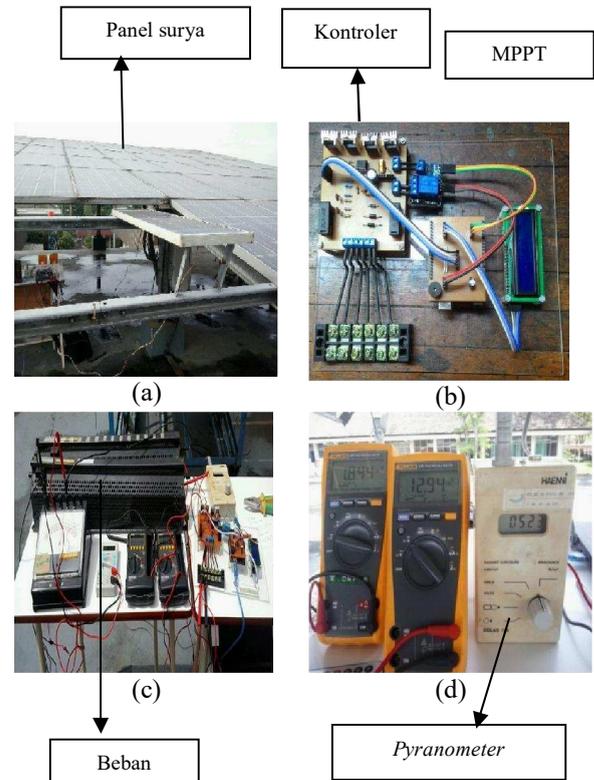
M. Pengujian Sistem

Sistem diuji dengan mengintegrasikan beban ke dalam keseluruhan sistem untuk melihat performansinya kemudian hasilnya dibandingkan dengan sistem konvensional seperti pada Gambar 4.

III. 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, beban yang terhubung dengan blok terminal MPPT. Beban yang digunakan divariasikan. Perbandingan dilakukan antara keluaran sistem konvensional dengan sistem yang menggunakan MPPT. Pengukuran irradiansi matahari menggunakan *pyranometer*. Realisasi rangkaian seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. (a) Panel Surya; (b) Realisasi Rangkaian; (c) Pengujian Alat Pada Sistem; (d) Contoh Pengujian

A. Sensor Arus

Proses kalibrasi sensor dilakukan dengan memberikan nilai yang bervariasi dan perbandingan data yang terbaca di LCD dengan multimeter. Data yang diperoleh seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengujian Sensor Arus

No	I _{multi} (A)	I _{sensor PV} (A)	Error
1	0,18	0,18	0%
2	0,20	0,20	1,46%
3	0,51	0,51	0,39%
4	0,61	0,61	0,00%
5	0,70	0,69	0,14%
6	1,00	0,99	0,50%
7	1,13	1,12	0,62%
8	1,22	1,21	0,41%
9	1,30	1,29	0,38%
10	1,51	1,49	0,60%
Rata-rata			0,50%

Dari 10 kali pengujian yang dilakukan diperoleh *error* terkecil adalah 0% dan nilai *error* terbesar adalah 1.46% sehingga nilai rata-rata *error* sebesar 0.50%. Idealnya nilai *error* adalah nol tetapi *error* tidak dapat dihindari sehingga diusahakan diperoleh nilai yang paling kecil.

B. Sensor Tegangan Panel Surya

Pengujian dilakukan dengan memvariasikan tegangan masukan untuk melihat performansi sensor. Data yang diperoleh sebagaimana pada Tabel 4.

Tabel 4. Data Sensor Tegangan Panel Surya

No	V _{multi} (V)	V _{sensor PV} (V)	Error
1	1,17	1,16	0,85%
2	2,06	2,05	0,49%
3	2,91	2,91	0,00%
4	4,00	4,00	0,00%
5	4,99	4,99	0,00%
6	6,06	6,06	0,00%
7	7,15	7,15	0,00%
8	8,03	8,02	0,12%
9	9,19	9,20	0,11%
10	10,07	10,07	0,00%
Rata-rata			0,16%

Pengujian sensor tegangan panel surya dilakukan sebanyak 10 kali. Rentang *error* berada pada range 0% - 0.85% dan rata-ratanya adalah 0.16%.

C. Sensor Tegangan Baterai

Pengujian media penyimpanan seperti pada Tabel 5. Pengambilan data uji untuk tegangan baterai juga dilakukan sebanyak 10 kali dan diperoleh rata-rata *error* sebesar 0.14% sebagaimana pada Tabel 5.

Tabel 5. Pengukuran Tegangan Baterai

No	V _{multi} (V)	V _{sensor PV} (V)	Error
1	1,2	1,19	0,83%
2	2,08	2,08	0,00%
3	3,09	3,09	0,00%
4	4,09	4,10	0,24%
5	5,03	5,03	0,00%
6	6,14	6,14	0,00%
7	7,09	7,08	0,14%
8	7,98	7,98	0,00%
9	9,04	9,05	0,11%
10	9,96	9,97	0,10%
Rata-rata			0,14%

D. Pengujian Buck Converter

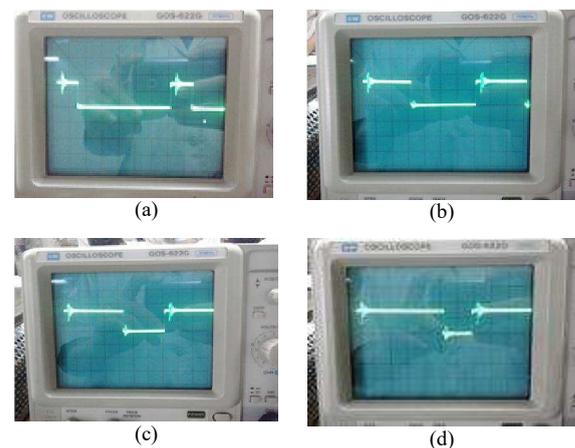
Buck converter digunakan untuk menurunkan level tegangan input dan memberikan keluaran yang stabil. Pengujian *buck converter* dilakukan dengan memberikan nilai yang tetap sebesar 12V dan hasilnya bisa diamati dengan variasi *duty cycle* yang diberikan.

Tabel 6 merupakan data pengujian yang sudah dilakukan.

Tabel 6. Pengujian Buck Converter

No	V _{in} (V)	D (%)	V _{count}	V _{out, multi} (V)	Error
1		10	1,20	1,22	2,00%
2		20	2,40	2,31	3,71%
3		30	3,60	3,54	1,72%
4		40	4,80	4,79	0,15%
5		50	6,00	6,06	0,93%
6	12	60	7,20	7,30	1,39%
7		70	8,40	8,50	1,19%
8		80	9,60	9,62	0,21%
9		90	10,80	10,61	1,76%
10		95	11,40	11,01	3,42%
Rata-rata					1,65%

Pengujian menggunakan *oscilloscope* juga digunakan untuk melihat kesesuaian antara *input* dan variasi *duty cycle*-nya. Pengujian ini seperti pada Gambar 8.



Gambar 8. (a) Sampel *Duty Cycle* Menggunakan D = 20%; (b) D = 50%; (c) D = 70%; (d) D = 90%

E. Pengujian Sistem

Tabel 7 menunjukkan pengambilan data yang dilakukan pada sistem konvensional dan sistem yang terhubung dengan MPPT. Data menunjukkan sistem yang terhubung dengan memberikan hasil yang lebih besar. Sistem diberi beban 5Ω - 70Ω pada kondisi irradiasi yang bervariasi.

Untuk daya yang dihasilkan Gambar 9 menunjukkan perbandingan antara sistem konvensional dengan sistem yang terkoneksi dengan MPPT. Gambar 9 juga menunjukkan daya yang dihasilkan selalu lebih tinggi bila dibandingkan dengan sistem konvensional.

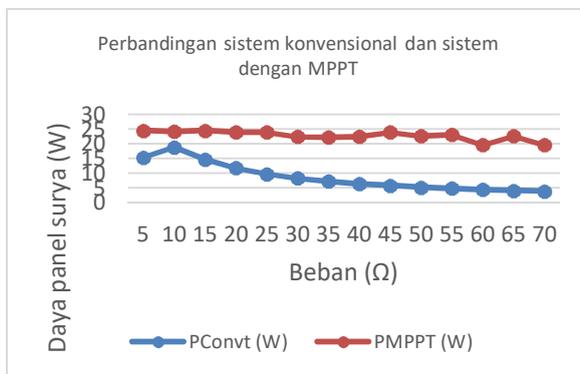
Dari variasi beban yang diberikan untuk sistem konvensional ketika beban 5Ω diberikan nilai daya berada pada 15W sedangkan untuk beban 10Ω daya mengalami kenaikan pada nilai 20W hal ini mengacu kepada nilai iradiasi matahari yang diterima yang juga mengalami peningkatan. Selanjutnya nilai daya

mempunyai *trend* menurun sesuai dengan besar beban yang diberikan.

Tabel 7. Pengujian Sistem Keseluruhan

No	R (ohm)	Hubung Langsung		MPPT	
		Iradiasi (W/m ²)	P _{pv} (watt)	Iradiasi (W/m ²)	P _{pv} (watt)
1	5	527	15,37	523	24,49
2	10	533	18,85	522	24,09
3	15	534	14,71	520	24,41
4	20	531	11,71	519	23,93
5	25	522	9,68	512	23,86
6	30	508	8,23	489	22,40
7	35	485	7,15	481	22,16
8	40	473	6,36	476	22,39
9	45	458	5,72	481	23,95
10	50	451	5,17	485	22,61
11	55	458	4,76	490	23,06
12	60	457	4,39	485	19,59
13	65	447	4,04	486	22,56
14	70	444	3,80	478	19,57

Untuk sistem dengan MPPT nilai daya mempunyai kecenderungan stabil meskipun beban yang diberikan bervariasi. Hal ini diperoleh dari pencapaian titik daya maksimum panel pada setiap variasi iradiasi yang diterima.



Gambar 9. Perbandingan Daya yang Dihasilkan Oleh Kedua Sistem

IV. PENUTUP

A. Kesimpulan

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

- Untuk nilai beban yang sama MPPT dengan metode yang diusulkan dapat menaikkan nilai daya output panel surya dengan perbandingan daya keluaran panel surya menggunakan metode konvensional menghasilkan daya 15.37 W dengan iradiasi 527 W/m² dan beban 5 Ω. Dengan beban yang sama sistem MPPT menggunakan algoritma *Perturb and Observe* memberikan daya keluaran sebesar 24.49 W dengan iradiasi 523 W/m².

- 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).

B. Saran

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 PUSTAKA

- "Trends in photovoltaic applications. Survey report of selected IEA countries between 1992 and 2009," International Energy Agency, Report IEA-PVPS Task 1 T1-19:2010
- "Sunny Family 2010/2011 - The Future of Solar Technology," SMA product catalogue 2010
- L. Piegari and R. Rizzo, "Adaptive perturb and observe algorithm for photovoltaic maximum power point tracking," *Renewable Power Generation, IET*, vol. 4, no. 4, pp. 317-328, 2010
- S. Amara, A. Bouallegue and A.Khedher, "Theoretical and Practical Study of a Photovoltaic MPPT Algorithm Applied to Voltage Battery Regulation," *International Journal of Renewable Energy Research* Vol.4, No 1, 2014
- P. Jaiswal and A.Mahor, "Review on MPPT Techniques in Solar Photovoltaic System," *International Journal of Advanced Technology in Engineering and Science*. Volume No.02, Issue No. 07, July 2014
- V. Ravindran and J. Sutaria, "Implementation in Arm Microcontroller to Maximize the Power Output of Solar Panel using Hill Climbing Algorithm," *International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT)*, 2016
- CW. Priananda and R Sulistyowati, "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*, 2015
- CS. Chin, P. Neelakantan, HP. Yoong, KTK. Teo, "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 2011
- F. Shabaninia, M.Molazemhosseini, SH. Abbasi, "Voltage-MPPT Controller Design of Photovoltaic Array System Using Fuzzy Logic Controller," *Advances in Energy and Power* 2(1): 1-6, 2014
- PU. Mankar dan RM. Moharil, "Comparative Analysis of The Perturb and Observe and Incremental Conductance MPPT Methods," *International Journal of Research in Engineering and Applied Sciences* July 2014

- [11] T.Chaitanya, CH. Saibabu, JS.Kumari, "Modelling and Simulation of PV Array and its Performance Enhancement Using MPPT (P&O) Technique," *International Journal of Computer Science & Communication Networks*, Vol 1(1), September-October 2011
- [12] H. Yatimi dan E.Aroudan, "Modeling and Simulation of a Stand-alone Photovoltaic System," *Xth international Conference on Integrated Design and Production*, CPI Desember 2015
- [13] SS. Mohammed dan D.Devaraj, "Interleaved boost converter with Perturb and Observe Maximum Power Point Tracking Algorithm for Photovoltaic System," *Proceedings of 2015 International Conference on Substantial Environmental Engineering and Renewable Energy (SEERE-15)* Jan 2015
- [14] MKD.Ulaganathan, C. Saravanan, OR Chitranjan, "Cost-effective Perturb and Observe MPPT Method using Arduino Microcontroller for a Standalone Photo Voltaic System," *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT) – Volume 8 Number 1- Feb 2014*
- [15] L. Qin and X.Lu, "Matlab/Simulink-Based Research on Maximum Power Point Tracking of Photovoltaic Generation," *International Conference on Applied Physics and Industrial Engineering 2012*
- [16] DS. Morales, "Maximum Power Point Tracking Algorithms for Photovoltaic Applications," 2010
- [17] WK. Francis, SS. Beevi, J. Mathew, "MATLAB/Simulink PV Module Model of P&O And DC Link CDC MPPT Algorithms with Labview Real Time Monitoring And Control Over P&O Technique," *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering 2014*.