

Pengaruh Penggunaan Perturb & Observe pada MPPT terhadap Daya Keluaran Sel Surya

Ernando Rizki Dalimunthe, Freddy Kurniawan*, Lasmadi
Departemen Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknologi Adisutjipto, Yogyakarta

* email: freddykurniawan@stta.ac.id

Abstract

Optimizing the output power value of a solar cell requires a tracker. The tracking is called the maximum power point tracking (MPPT) which will produce a maximum output power value. Each component in this system is modeled into Simulink. This simulation is designed to optimize the work of solar cells by searching maximum power points using perturb and observe (P&O) algorithms, then duty cycles are output of the algorithms become Buck-Boost Converter inputs as switching so they can produce output power with better output power. Simulation results show that MPPT can increase the average output power on changes in the value of sun irradiation, temperature and load than systems that do not use MPPT. The factor of the average difference in power is 37.82%.

Keywords —Buck-Boost Converter, Duty-cycle, MPPT, Perturb & Observe, Photovoltaics.

1. Pendahuluan

Indonesia berpotensi untuk menjadikan energi solar sebagai salah satu sumber energi masa depan mengingat posisi Indonesia pada daerah khatulistiwa. Selain itu, energi solar memiliki banyak keunggulan, salah satunya yaitu mampu menyediakan energi listrik. Hingga saat ini dalam pemanfaatannya terdapat dua macam teknologi yang sudah diterapkan, yaitu teknologi energi surya termal dan teknologi energi sel surya.

Permasalahan utama pada pemanfaatan sel surya adalah rendahnya energi listrik yang dihasilkan terutama pada kondisi radiasi yang rendah dan suhu yang berubah-ubah. Dalam berbagai perubahan kondisi suhu dan radiasi, terdapat titik dimana sel surya akan menghasilkan energi tertinggi dengan efisiensi maksimum. Titik tersebut dikatakan *maximum power point* (MPP). Letak dari MPP tidak diketahui tetapi dapat dicari dengan melakukan perhitungan atau mengaplikasikan algoritma pelacak agar daya yang dihasilkan sel surya selalu berada pada MPP dalam berbagai kondisi lingkungan yang berubah-ubah. Seiring dengan besarnya kebutuhan masyarakat terhadap energi listrik, berbagai solusi dicari guna menutupi kekurangan dari sel surya tersebut.

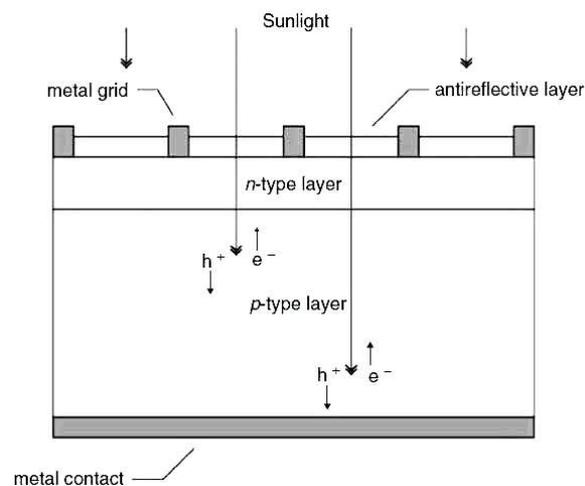
Penelitian oleh Muhammad Otong dkk pada tahun 2016 dengan judul “*Maximum Power Point Tracking (MPPT) pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Buck Boost Converter*”. Penelitian ini berisi tentang mencari nilai daya maksimum dari suatu pembangkit listrik tenaga angin, dimana daya keluaran digunakan untuk *charging battery* guna penyimpanan cadangan listrik.

Penelitian oleh Ranny Dwidayanti pada tahun 2017 dengan judul “*Optimasi Pengisian Daya Baterai Pada Panel Surya Menggunakan Maximum Power Point Tracking (MPPT)*”. Penelitian ini berisi tentang pengoptimalan daya pada sel surya yang akan digunakan sebagai catu daya baterai menggunakan metode MPPT dan *buck-boost converter* dengan beban dan intensitas cahaya matahari yang tetap, sedangkan suhu yang berbeda.

2. Sel Surya, MPPT dan Konverter DC-ke-DC

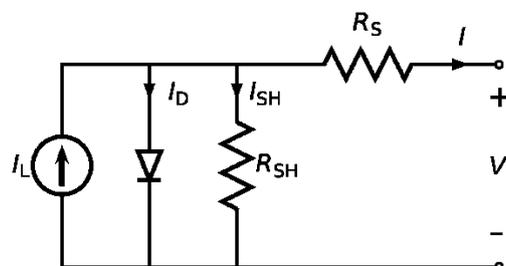
2.1 Sel Surya

Sel surya (*Photovoltaic*, PV) didefinisikan sebagai teknologi yang menghasilkan listrik DC dari suatu bahan semikonduktor ketika dipaparkan oleh cahaya [1]. Selama bahan semikonduktor tersebut dipaparkan oleh cahaya maka sel surya akan selalu menghasilkan energi listrik. Namun, ketika tidak dipaparkan oleh cahaya sel surya berhenti menghasilkan energi listrik [6]. Energi solar atau radiasi cahaya terdiri dari biasan foton-foton yang memiliki tingkat energi yang berbeda-beda. Perbedaan tingkat energi dari foton cahaya inilah yang akan menentukan panjang gelombang dari spektrum cahaya. Foton yang terserap oleh sel surya inilah yang akan memicu timbulnya energi listrik [1]. Kontruksi dasar sel surya dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Penampang Sel Surya [6]

Metal grid membentuk satu dari terminal listrik semikonduktor. Cahaya matahari akan masuk melalui *metal grid* dan menyebabkan kontak dengan komponen semikonduktor dan kemudian energi listrik akan terbentuk. *Antireflective layer* berfungsi untuk meningkatkan jumlah cahaya yang masuk ke semikonduktor [1]. Energi listrik terbentuk ketika adanya *hole* (h^+) dan elektron (e^-) yang muncul akibat energi cahaya matahari yang masuk ke sel surya [6]. Rangkaian sel surya dapat direpresentasikan sebagai sumber arus yang terhubung paralel dengan sebuah dioda dan tahanan (R_{SH}) dan terhubung seri dengan tahanan (R_S) [7]. Berdasarkan rangkaian tersebut didapat persamaan arus yang dihasilkan oleh sel surya. Rangkaian ekivalen PV ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian Ekivalen PV [1]

PV modeling pada simulink menggunakan model matematis, berikut persamaan-persamaan PV modeling [7,9].

$$I = I_L - I_D \quad (1)$$

$$I_D = I_0 \left[\exp \left(q \frac{(V+I R_S)}{N_S A k T} \right) - 1 \right] \quad (2)$$

$$I = I_L - I_0 \left[\exp \left(q \frac{(V+I R_S)}{N_S n k T / q} \right) - 1 \right] \quad (3)$$

$$I_L = [I_{SC} + K_i (T_k - T_r)] \frac{\beta}{1000} \quad (4)$$

$$I_{RS} = I_{SC} / \left[\exp \left(\frac{q V_{oc}}{N_S A k T} \right) - 1 \right] \quad (5)$$

$$I_0 = I_{RS} \left[\frac{T}{T_r} \right]^3 \exp \left[\frac{q E g}{A k} \left\{ \frac{1}{T_r} - \frac{1}{T} \right\} \right] \quad (6)$$

$$I = N_p \cdot I_l - N_p \cdot I_0 \left[\exp \left(\frac{V+I R_S}{N_S n k T / q} \right) - 1 \right] \quad (7)$$

Dimana,

I = Output current (A)

I_L = Photo current (A)

I_0 = Diode saturation current (A)

Q = Electron charge ($1.6 \times 10^{-19} \text{C}$)

V = Output voltage (V)

R_s = Series resistance

N_s = Number of cells in series

A = Diode factor

k = Boltzman constant ($1.3805 \times 10^{-23} \text{J/K}$)

T = Cell temperature (K)

I_m = Current at the point of maximal power (A)

I_{sc} = Short circuit current (A)

V_{oc} = Open circuit voltage (V)

V_m = Voltage at the point of maximal power (V)

Solar module ALTA devices yang digunakan dengan susunan 8 seri dan 26 paralel [11]. Karakteristik solar module ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Solar Module ALTA Devices

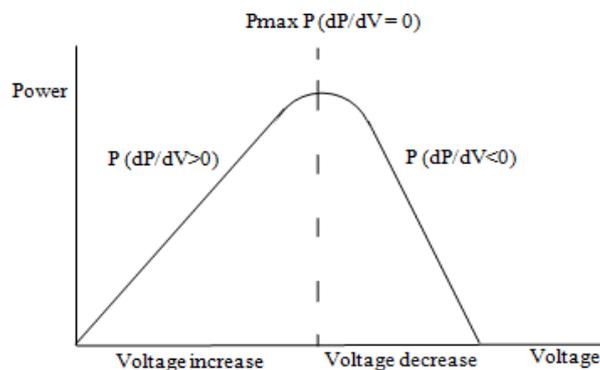
| | | |
|----------|-----|----------|
| P_{mp} | (W) | 44.52864 |
| V_{mp} | (V) | 7.68 |
| I_{mp} | (A) | 5.798 |
| FF | (%) | 84.3 |
| V_{oc} | (V) | 8.72 |
| I_{sc} | (A) | 6.058 |

*Standard Condition: 25°C 1000W/m^2

2.2 Maximum Power Point Tracking (MPPT)

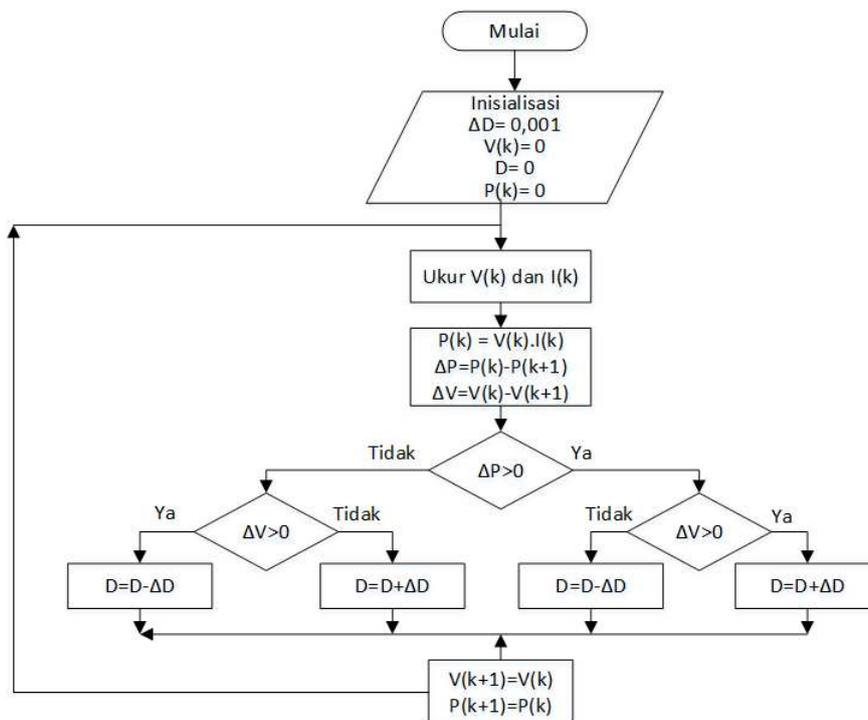
Maximum Power Point Tracking atau sering disingkat dengan MPPT merupakan sebuah sistem elektronik yang dioperasikan pada sebuah panel photovoltaic (PV) sehingga panel photovoltaic bisa menghasilkan power maksimum. Perlu diperhatikan, MPPT bukanlah sebuah sistem tracking mekanik yang digunakan untuk mengubah posisi modul terhadap posisi

matahari sehingga mendapatkan energi maksimum matahari [8]. MPPT benar-benar sebuah sistem elektronik yang bisa menelusuri titik daya maksimum. Daya yang bisa dikeluarkan oleh sebuah panel sel surya [2,3]. Keluaran dari sel surya dipengaruhi oleh cahaya matahari, diperlukan suatu algoritma untuk menemukan *maximum power point* (MPP) dan menjaga titik kerja. Algoritma *Perturb and Observe* dengan metode *Climbing Hill* dapat digunakan sebagai algoritma kendali MPPT. Algoritma ini dapat dijelaskan sebagaimana pada Gambar 3, ada tiga jenis poin dan terletak pada 3 posisi. Di *left peak* $\Delta P/\Delta V > 0$, puncak kurva $\Delta P/\Delta V = 0$, dan *right peak* $\Delta P/\Delta V < 0$ [2-4].



Gambar 3. Posisi *Slope* pada Kurva Daya Sel Surya

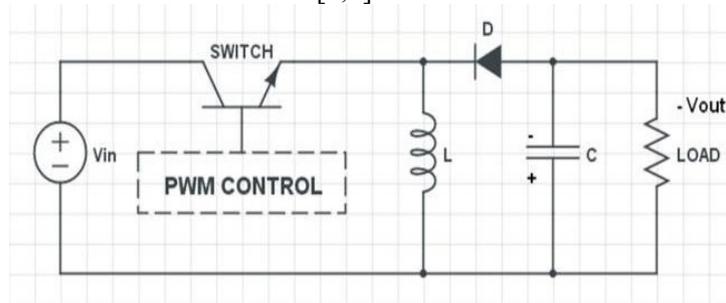
Metode ini bekerja dengan cara *perturbing* (menaikkan atau menurunkan) *duty cycle*. Setiap kali perubahan *duty cycle* akan dilihat perubahan dayanya. Bila daya sekarang lebih besar dibandingkan daya sebelumnya, maka *duty cycle* akan dinaikkan lagi. Bila daya yang sekarang lebih kecil dibandingkan daya yang sebelumnya, maka *duty cycle* akan dikurangi. Karena itu, metode ini memerlukan *input* nilai daya *output* untuk mengetahui daya yang jatuh di beban [10]. Gambar 4 merupakan algoritma *perturb and observe*.



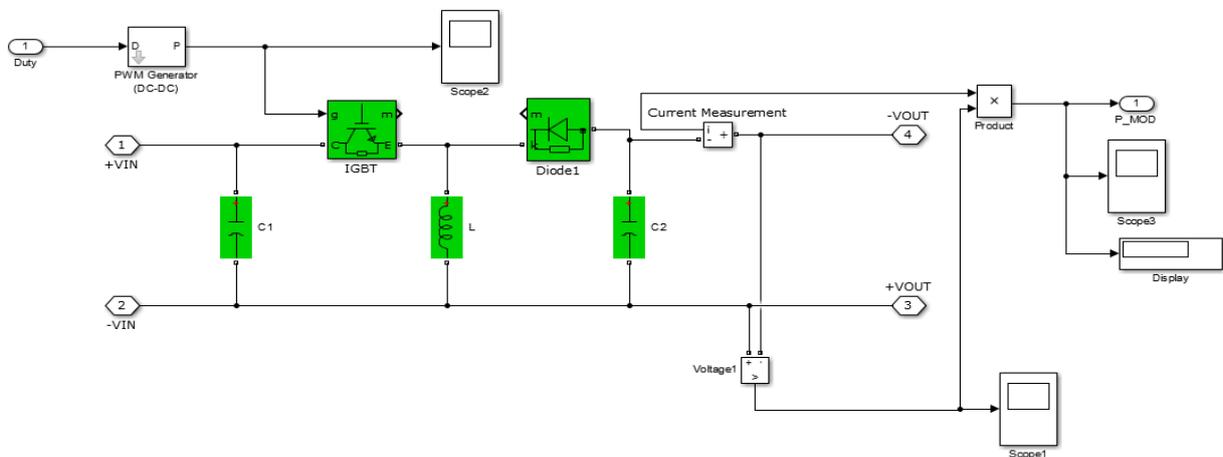
Gambar 4. Diagram Alir Algoritma *Perturb and Observe*

2.3 Konverter DC ke DC *Buck Boost*

Alat ini dapat mengubah tegangan DC ke DC menjadi lebih tinggi atau lebih rendah dari tegangan masukannya. Sehingga pengguna dapat memilih sendiri tegangan yang akan diaplikasikan ke beban yaitu lebih tinggi atau lebih rendah dari tegangan keluaran *photovoltaic*. *Buck boost converter* adalah sebuah rangkaian *DC-DC converter* yang memiliki kelebihan yaitu tegangan keluaran dapat diatur lebih besar atau lebih kecil dari sumber [3,8].



Gambar 5. Rangkaian Ekuivalen *Buck Boost Converter*



Gambar 6. Pemodelan *Buck Boost Converter* pada Simulink

Untuk memodelkan *buck boost converter* maka dibutuhkan parameter komponen sebagai penyusun nya [5].

$$D = \frac{|V_o|}{V_{in} + |V_o|} \tag{8}$$

$$L = \frac{(1-D)^2}{2 \times f} \times R \tag{9}$$

$$C = \frac{V_o \times D}{R \times \Delta V_o \times f} \tag{10}$$

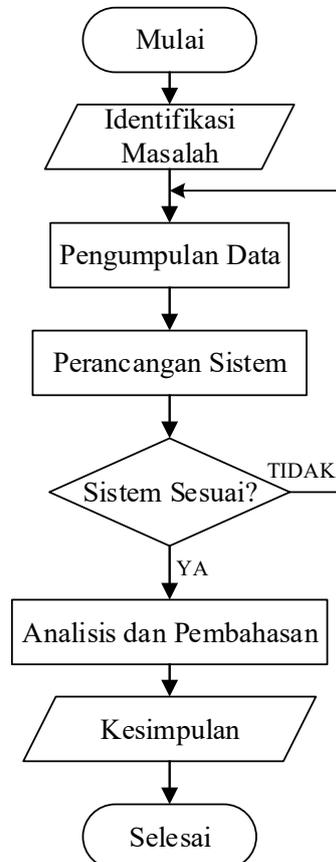
Tabel 2. Parameter *Boost Converter*

| Parameter | Nilai |
|---------------------------------|---------------|
| Tegangan Masukan (V_{in}) | 7,2 V |
| Tegangan Keluaran (V_{out}) | 12,6 V |
| <i>Duty Cycle</i> | 0,63 |
| Kapasitor (C) | 750 μ F |
| Induktor (L) | 57,49 μ H |
| Frekuensi | 10KHz |

3. Metodologi

3.1 Alur Penelitian

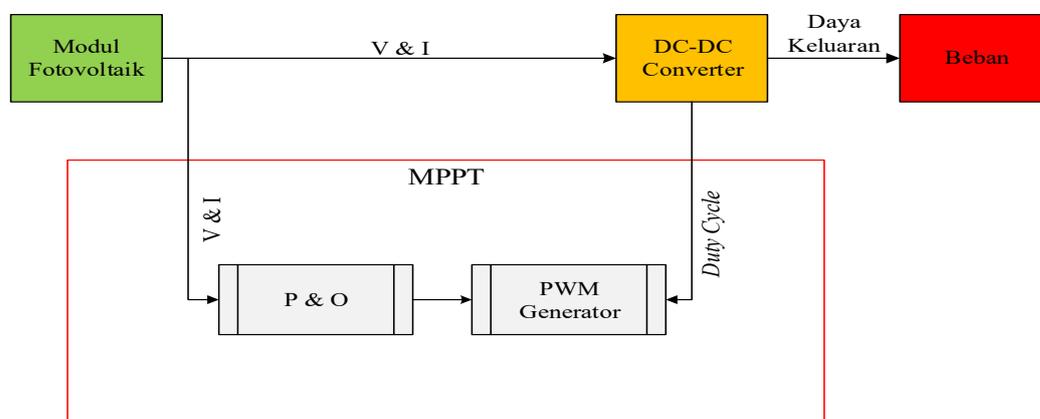
Alur atau langkah penelitian yang digunakan sebagai dasar dalam melaksanakan penelitian, ditunjukkan berdasarkan diagram alir pada Gambar 7.



Gambar 7. Diagram Alir Penelitian

3.2 Rancangan Sistem

Setelah pengumpulan data yang mendukung penelitian, maka dilakukan perancangan pembuatan simulasi berdasarkan diagram blok pada Gambar 8.



Gambar 8. Diagram Blok Perancangan Sistem

4. Hasil Penelitian

4.1 Uji Validasi Photovoltaic

Pengujian ini bertujuan untuk menguji hasil pemodelan pada Simulink apakah sudah sesuai dengan modul *photovoltaic* sebenarnya. Dari pengujian tersebut, diperoleh nilai pada arus hubung singkat pada saat diberi nilai hambatan sebesar 0,001 ohm yakni 6,058 A sedangkan nilai pada tegangan terbuka pada saat diberi nilai hambatan sebesar 1000 ohm yakni 8,719 V sehingga diperoleh daya sebesar 52,819 watt. Perbandingan uji validasi antara hasil perhitungan berdasarkan Tabel 2 dengan pengujian model disajikan pada Tabel 3.

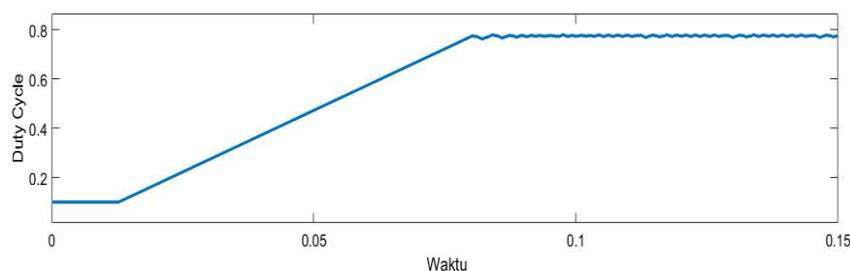
Tabel 3. Uji Validasi Model Modul Sel surya

| No. | Perhitungan | Pengujian |
|-----|---------------|---------------|
| 1 | Voc = 8,72 V | Voc = 8,719 V |
| 2 | Isc = 6,058 A | Isc = 6,058 A |
| 3 | P = 52,825 W | P = 52,819 W |

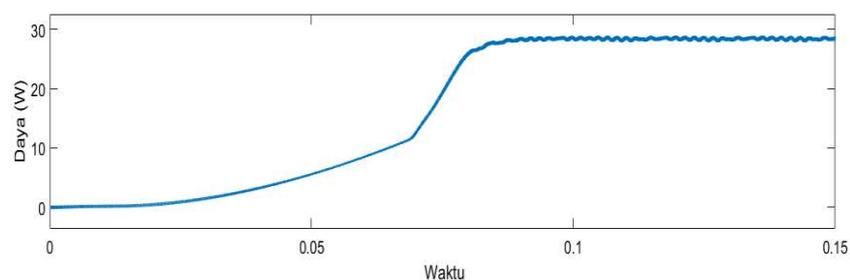
Berdasarkan Tabel 3, dapat ditarik kesimpulan bahwa model modul *photovoltaic* yang dibuat valid dan dapat digunakan, karena nilai pada pengujian dan perhitungan tidak jauh berbeda.

4.2 Pengujian Simulasi Sistem MPPT

Pengujian ini dilakukan dengan merumuskan algoritma *perturb and observe* dengan memperhatikan tegangan dan arus masukan sebagai dasar pembentukan nilai *duty cycle*. Selain tegangan dan arus, hasil perkalian keduanya yang akan menghasilkan daya akan menjadi pertimbangan juga dalam pembentukan nilai *duty cycle* dengan cara mengganggu nilai tegangan dan arus lalu menghitung nilai daya di setiap gangguan pada tegangan dan arus. Pengujian ini dilakukan dengan cara menghubungkan sistem MPPT dengan beban 10 ohm dan diamati nilai tegangan masukan, arus masukan dan daya masukan. Pengamatan selanjutnya yakni nilai *duty cycle* hasil algoritma serta tegangan keluaran, arus keluaran dan daya keluaran.



Gambar 9. Grafik Keluaran Algoritma *Perturb and Observe*



Gambar 10. Daya Keluaran pada Beban

Pada Gambar 9 dan 10, waktu yang dibutuhkan $\pm 0,08$ detik untuk mencapai nilai maksimum baik tegangan, arus, daya, *duty cycle* dan daya pada beban. Pada simulasi daya keluaran pada beban sebesar 28,81 watt dan nilai *duty cycle* $\pm 0,79$ dengan *duty step* 0,001, setelah mencapai nilai maksimum nilai-nilai tersebut akan mengalami osilasi pada titik maksimum dikarenakan prinsip algoritma *perturb and observe* itu sendiri yakni penggangguan dan pengamatan, sehingga nilai tegangan dan arus akan terus diganggu lalu akan diamati hasil keduanya dalam bentuk nilai daya. Pengujian algoritma *perturb and observe* dilakukan dengan cara mengubah nilai masukan PWM generator secara manual yang semula adalah keluaran algoritma yang bertujuan apakah algoritma sudah tepat dalam menentukan *duty cycle* untuk mencari daya maksimum. Berikut adalah tabel pengujian sistem MPPT secara manual.

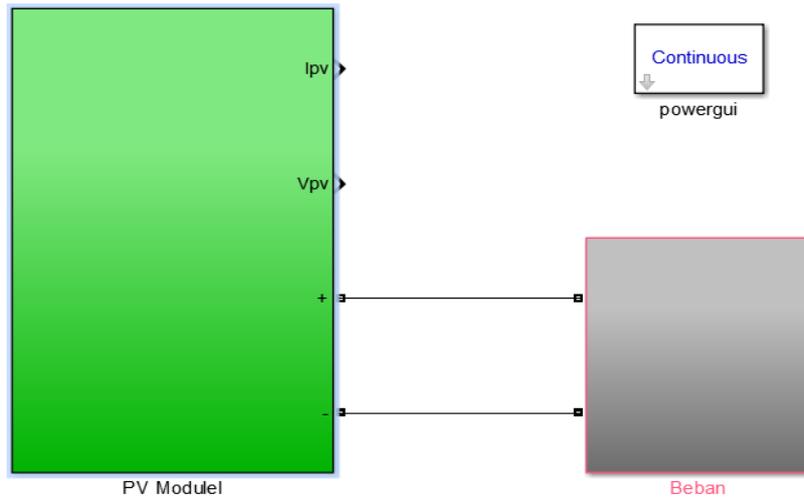
Tabel 4. Pengujian Manual Sistem MPPT

| No. | <i>Duty Ratio</i> | Daya (W) |
|-----|-------------------|----------|
| 1 | 0.1 | 0,216 |
| 2 | 0.2 | 1,075 |
| 3 | 0.3 | 2,58 |
| 4 | 0.4 | 4,719 |
| 5 | 0.5 | 7,464 |
| 6 | 0.6 | 10,816 |
| 7 | 0.7 | 17,161 |
| 8 | 0.77 | 27,89 |
| 9 | 0.78 | 28,81 |
| 10 | 0.79 | 28,89 |
| 11 | 0.8 | 22,8 |
| 12 | 0.9 | 4,678 |

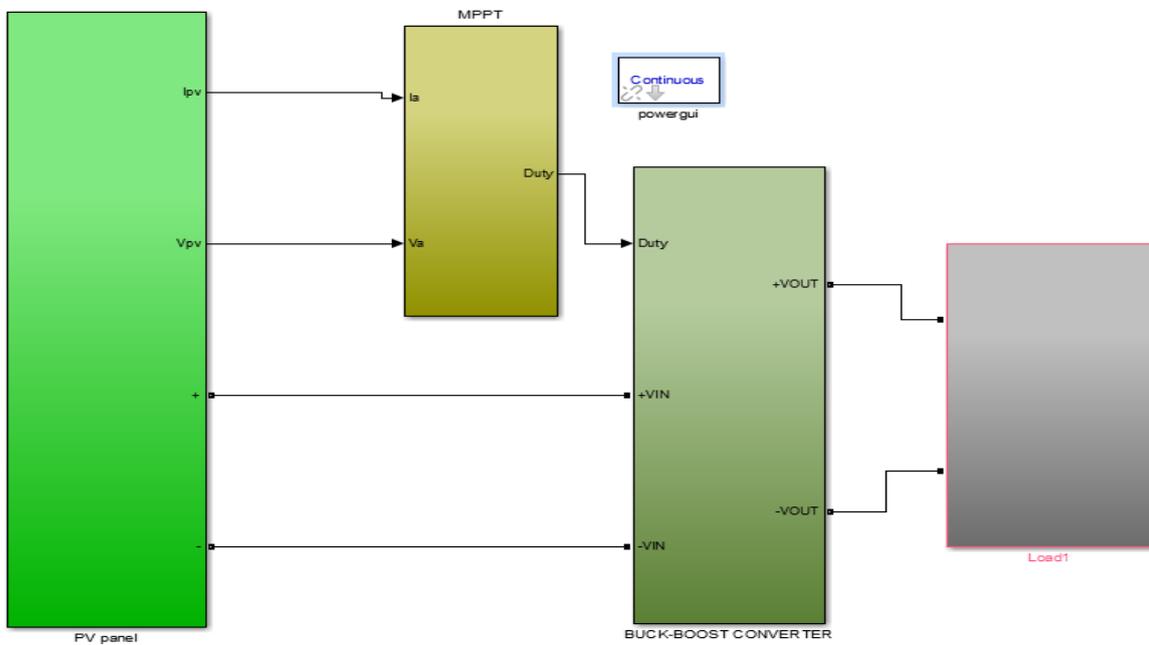
Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa algoritma *perturb and observe* berhasil mencari titik daya maksimum.

4.3 Pengujian *Photovoltaic* dengan Beban Bervariasi

Pengujian ini dilakukan dengan menghubungkan modul *photovoltaic* dengan hambatan yang nilai berubah-ubah dari 0,1 ohm, 0,5 ohm, 1 ohm, 3 ohm dan 5 ohm. Pengujian ini dilakukan pada dua kondisi, yakni sebelum menggunakan MPPT dan setelah menggunakan MPPT. Adapun data yang akan dianalisis adalah daya beban sebelum dan sesudah menggunakan MPPT. Pengujian ini di lakukan pada tiga keadaan intensitas cahaya matahari yakni $0,6 \text{ kW/m}^2$, $0,8 \text{ kW/m}^2$, 1 kW/m^2 dan dilakukan pada tiga keadaan suhu yakni 25°C , 30°C dan 35°C . Berikut adalah pemodelan pengujian pada Simulink.



Gambar 11. Modul *Photovoltaic* dengan Beban Bervariasi tanpa MPPT



Gambar 12. Modul *Photovoltaic* dengan Beban Bervariasi dengan MPPT

Berikut adalah tabel hasil simulasi dari pengujian *photovoltaic* dengan beban bervariasi sebagaimana yang ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Pengujian Sistem MPPT dengan *Irradiance* Tetap

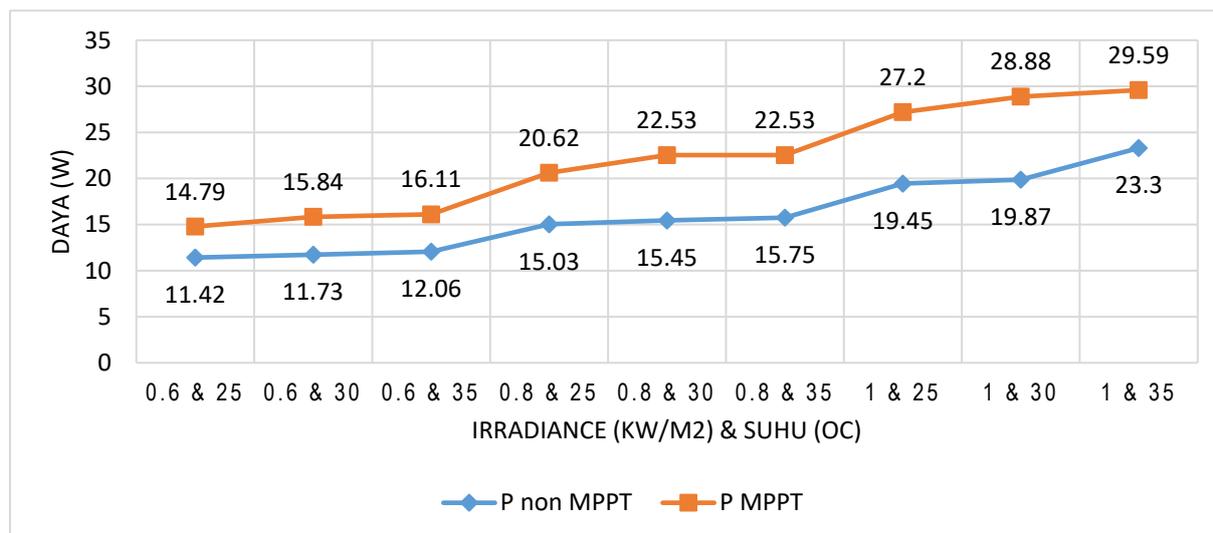
| <i>Irradiance</i> (kW/m ²) | Suhu (°C) | Daya tanpa MPPT (W) | Daya dengan MPPT (W) |
|---|--------------|------------------------|-----------------------------|
| 0.6 | 25 | 11.42 | 14.79 |
| | 30 | 11.73 | 15.84 |
| | 35 | 12.06 | 16.11 |
| 0.8 | 25 | 15.03 | 20.62 |
| | 30 | 15.45 | 22.53 |
| | 35 | 14.75 | 22.53 |
| 1 | 25 | 19.45 | 27.2 |
| | 30 | 19.87 | 28.88 |
| | 35 | 23.3 | 29.59 |

Tabel 5 menunjukkan hasil simulasi dari pengujian dengan *irradiance* tetap dan suhu yang berubah-ubah. Daya (Daya tanpa MPPT dan Daya dengan MPPT) merupakan rata-rata daya dari 5 beban yang di uji.

Tabel 6. Pengujian sistem MPPT dengan suhu tetap

| Suhu (°C) | <i>Irradiance</i> (kW/m ²) | Daya tanpa MPPT (W) | Daya dengan MPPT (W) |
|--------------|---|------------------------|-------------------------|
| 25 | 0.6 | 11.42 | 14.79 |
| | 0.8 | 15.03 | 20.62 |
| | 1 | 19.45 | 27.2 |
| 30 | 0.6 | 11.73 | 15.84 |
| | 0.8 | 15.45 | 22.53 |
| | 1 | 19.87 | 28.88 |
| 35 | 0.6 | 12.06 | 16.11 |
| | 0.8 | 14.75 | 22.53 |
| | 1 | 23.3 | 29.59 |

Tabel 6 diatas menunjukkan hasil simulasi dari pengujian dengan suhu tetap dan *irradiance* yang berubah-ubah. Daya (Daya tanpa MPPT dan Daya dengan MPPT) merupakan rata-rata daya dari 5 beban yang diuji. Berdasarkan pada Tabel 5 dan Tabel 6, didapatkan nilai rata-rata daya dari setiap percobaan *irradiance*. Dimana nilai rata-rata daya diambil dari nilai daya setiap perubahan beban pada setiap perubahan *irradiance*. Berikut adalah grafik daya rata-rata berdasarkan pengujian.



Gambar 13. Grafik Perbandingan Daya tanpa MPPT dan Daya dengan MPPT

Pada Gambar 13. menunjukkan perbandingan rata-rata daya pada *photovoltaic* antara tanpa MPPT dan menggunakan MPPT sesuai pengujian yang dilakukan sebelumnya, bahwa *photovoltaic* yang menggunakan MPPT memiliki rata-rata daya yang lebih besar dibandingkan dengan tanpa MPPT. Adapun rerata dari daya rata-rata tersebut adalah sebagai berikut:

- a. Rata-rata daya tanpa MPPT = 144.72 W
- b. Rata-rata daya dengan MPPT = 199.46 W.

Rerata tersebut diperoleh dari penjumlahan nilai rata-rata daya beban yang telah dilakukan pengujian sebelumnya. Berdasarkan nilai rerata daya, maka *photovoltaic* yang menggunakan MPPT memiliki rata-rata daya lebih besar daripada *photovoltaic* yang tidak menggunakan MPPT, artinya *photovoltaic* yang menggunakan MPPT memiliki kinerja lebih baik dan efisien daripada *photovoltaic* tanpa MPPT, karena *photovoltaic* dengan MPPT mampu mengeluarkan daya yang lebih besar daripada *photovoltaic* yang tidak menggunakan MPPT. Oleh karena itu, MPPT dapat digunakan untuk meningkatkan daya *photovoltaic* yang dihubungkan pada beban bervariasi. Perhitungan performa daya keluaran dengan MPPT dapat diperoleh sebagai berikut:

$$F_s = \frac{P_{rm} - P_{rnm}}{P_{rnm}} \times 100\% \tag{11}$$

$$F_s = \frac{199.46 - 144.72}{144.72} \times 100\% \tag{12}$$

$$F_s = 37.82\% \tag{13}$$

dimana,

F_s = Faktor selisih

P_{rm} = Rata-rata daya keluaran MPPT

P_{rnm} = Rata-rata daya keluaran non MPPT

Dari hasil perhitungan menunjukkan bahwa faktor selisih dari rerata daya keluaran menggunakan sistem MPPT meningkat 37.82% dibandingkan dengan sistem tanpa MPPT. Secara teoritis, MPPT merupakan sebuah system elektronik yang dioperasikan pada sebuah modul *photovoltaic* sehingga panel *photovoltaic* bisa menghasilkan daya maksimum, dari uraian gambar gelombang pada grafik dan perhitungan efisiensi, terbukti bahwa sistem MPPT memaksimalkan daya yang diperoleh dari panel surya.

5. Kesimpulan

1. Penggunaan algoritma *perturb and observe* pada *photovoltaic* dapat mengoptimalkan daya yang dihasilkan modul *photovoltaic*.
2. Algoritma *perturb and observe* mengoptimalkan daya dengan faktor selisih dari rata-rata daya sebesar 37.82% dan mampu mengoptimalkan daya keluaran panel surya meskipun *irradiance* dan suhu lingkungan berubah-ubah dengan beban yang bervariasi.

Daftar Pustaka

- [1] Aditayan, Nora. 2015. *Karakteristik Panel Surya Model SR-156P-100 Berdasarkan Intensitas Cahaya Matahari*, Skripsi, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung, Bandar Lampung.
- [2] Ananduta, Wayan Wicak. 2011. *Simulasi dan Analisis Sistem Maximum Power Point Tracker Berbasis Rangkaian Boost Converter*, Skripsi, Fakultas Teknik, UI, Depok, Indonesia.
- [3] Dwidayanti, Ranny. 2017. *Optimasi Pengisian Daya Baterai Pada Panel Surya Menggunakan Maximum Power Point Tracking (MPPT)*, Skripsi, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Bandar Lampung.
- [4] Esram, T. & Chapman, P.L. 2007. *Comparasion of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques*. *Energy Conversion, IEEE Transaction on*, 22(2), 439-449.
- [5] Hart, D. W. (1997). *Introduction to Power Electronics*. New Jersey: Prentice-Hall.
- [6] Hegedus, S., & Luque, A. 2003. *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*. West Sussex: Jhon Wiley & Sons.
- [7] Khezzar, A., M. Zereg and R. Khezzar. *Comparative Study of Mathematical Methods for Parameters Calculation of Current Voltage Characteristic of Photovoltaic Module*. Algeria: Universite Hadj Lakhdar and Universite Mentouri.
- [8] Otong M dan Bajuri Rifai. 2016, *Maximum Power Point Tracking (MPPT) Pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Buck-Boost Converter*, jurnal, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Banten, 103-110.
- [9] Pandiarajan, N., and Ranganath Muthu. *Mathematical Modeling of Photovoltaic Module with Simulink*. India: Departement of Electrical Engineering SSn College of Engineering Kalavakkan.
- [10] Zaana Baskoro. (2017). *Analisis Pengaruh Penambahan Sel Surya Untuk Catu Daya Tambahan*, Skripsi, Jurusan Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknologi Adisutjipto, Yogyakarta.