

# PERANCANGAN MAXIMUM POWER POINT TRACKING PANEL SURYA MENGGUNAKAN BUCK BOOST CONVERTER DENGAN METODE INCREMENTAL CONDUCTANCE

Betantya Nugroho<sup>\*)</sup>, Susatyo Handoko, and Trias Andromeda

Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

<sup>\*)</sup>E-mail: betantya@gmail.com

## Abstrak

Potensi energi matahari di Indonesia dapat dimanfaatkan sepanjang hari, hal ini sangat menguntungkan untuk membangkitkan energi listrik dengan menggunakan panel surya. Beberapa metode digunakan pada panel surya untuk menaikkan efektifitas konversi energi panel surya. Metode pencarian dinamis menggunakan motor listrik untuk mengarahkan panel surya ke matahari, sedangkan metode pencarian statis atau *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) menggunakan konverter daya. MPPT digunakan untuk mencari titik daya maksimum dari kurva karakteristik P-V pada panel surya. Titik daya maksimum panel surya berubah-ubah ketika terdapat perubahan irradiansi dan temperatur. Pada penelitian ini dilakukan perancangan MPPT menggunakan *buck boost converter* dengan metode algoritma *Incremental Conductance* untuk mencari daya maksimum panel surya. Pada pengujian sistem, didapatkan hasil sistem MPPT mampu mencari daya maksimum rata-rata panel surya sebesar 4,42 watt pada irradiansi 1000 watt/m<sup>2</sup> temperatur 29°C, sedangkan daya tanpa MPPT pada resistansi 50 Ω sebesar 4,17 watt, 33,3 Ω sebesar 2,88 watt, 25 Ω sebesar 2,37 watt dan 20 Ω sebesar 2,04 watt. Irradiansi 750 watt/m<sup>2</sup> temperatur 29°C sebesar 3,01 watt, , sedangkan daya tanpa MPPT pada resistansi 50 Ω sebesar 2,53 watt, 33,3 Ω sebesar 1,84 watt, 25 Ω sebesar 1,48 watt dan 20 Ω sebesar 1,33 watt.

*Kata kunci: Maximum Power Point Tracking, Incremental Conductance, Buck Boost Converter*

## Abstract

Potential of solar energy in Indonesia can be used all of the day, it is most advantageous to generate electrical energy using solar panels. Methods to increase the energy conversion of solar panels is various. Dynamic tracking method using an electric motor to drive the solar panels to the sun. Static tracking or Maximum Power Point Tracking (MPPT) using power converters. MPPT tracks maximum power point from P-V curve characteristic of solar panel. Maximum power point changes when the irradiation and temperature changes or when the solar panel is partially shaded. In this study, This final project designed MPPT using buck boost converter with incremental conductance algorithm method to find maximum power of a solar panel. In the result, MPPT system can track average maximum power 4.42 watt on irradiation 1000 watt/m<sup>2</sup> and temperature 29°C, power without MPPT is 4,17 watt at resistance 50 Ω, 2,88 watt at 33,3 Ω, 2,37 watt at 25 Ω and 2,04 watt at 20 Ω. Power on irradiation 750 watt/m<sup>2</sup> and temperature 29°C is 3,01 watt, maximum power without MPPT is 2,53 watt at resistance 50 Ω, 1,84 watt at 33,3 Ω, 1,48 watt at 25 Ω and 1,33 watt at 20 Ω.

*Keywords: Maximum Power Point Tracking, Incremental Conductance, Buck Boost Converter*

## 1. Pendahuluan

Potensi energi matahari di Indonesia dapat dimanfaatkan sepanjang hari karena Indonesia berada pada daerah beriklim tropis, hal ini sangat menguntungkan untuk membangkitkan energi listrik dengan menggunakan panel surya. Permasalahan utama pada penggunaan panel surya adalah pembangkitan tenaga listrik yang rendah [1] pada kondisi radiasi yang rendah dan besarnya daya listrik

yang dibangkitkan berubah secara berkala seiring dengan perubahan cuaca dan temperatur[2].

Terdapat 2 metode yang digunakan untuk mengoperasikan panel surya pada titik daya maksimumnya, yaitu metode dinamis dan metode statis[3]. Metode dinamis menggunakan motor listrik untuk mengarahkan panel surya ke matahari, sehingga irradiansi matahari yang diterima panel surya dapat maksimum. Metode statis atau *Maximum Power Point*

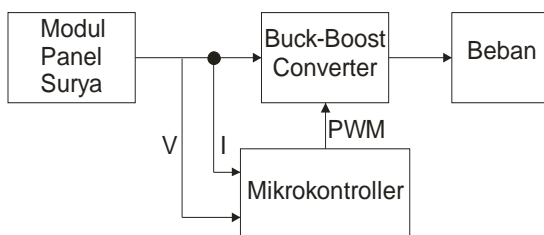
Tracking (MPPT) menggunakan konverter daya untuk mencari titik daya maksimum pada kurva karakteristik panel surya, namun irradiasi matahari yang diterima panel surya metode statis tidak sebesar metode dinamis. MPPT digunakan untuk mencari titik daya maksimum dari kurva karakteristik P-V pada panel surya [4]. Titik daya maksimum panel surya berubah ketika terdapat perubahan irradiasi dan temperatur. MPPT terdiri dari 2 bagian utama, yaitu konverter DC-DC dan metode MPPT.

Konverter DC-DC pada MPPT berfungsi sebagai konverter untuk mengubah tegangan yang dibangkitkan panel surya ke level tegangan yang dibutuhkan. Konverter DC-DC terdiri dari beberapa konfigurasi, yaitu tipe *Buck*, *Boost*, *Buck Boost*, *Cuk* dan *Sepic*. *Buck converter* sebagai penurun tegangan, tipe *Boost converter* sebagai penaik tegangan, sedangkan Tipe *Buck Boost converter*, *Cuk converter* dan *Sepic converter* digunakan sebagai penurun dan penaik tegangan.

Berbagai metode algoritma telah dipaparkan Trishan Efram dan Patrick L. Chapman [5], antara lain *Incremental Conductance*, *Perturb and Observe (P&O)*, *Fuzzy Logic* dan lain-lain. Semua algoritma tersebut berbeda aspek termasuk kesederhanaan, kecepatan, implementasi hardware, sensor yang dibutuhkan, efektifitas, dan parameter yang dibutuhkan. Pada Penelitian ini dilakukan perancangan MPPT menggunakan *Buck Boost Converter* dengan metode *Incremental Conductance*.

## 2. Metode

Perancangan MPPT ada 4 sistem utama yaitu modul panel surya, rangkaian daya, rangkaian kontrol dan algoritma MPPT. Berikut blok diagram sistem MPPT terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Blok diagram sistem MPPT

### 2.1. Perancangan Modul Panel Surya

Modul panel surya yang digunakan adalah tipe monocrystalline. Modul panel surya yang digunakan dalam percobaan dengan spesifikasi sebagai berikut.

Penelitian yang dilakukan dalam kondisi panel surya yang berada dalam kotak yang tertutup. Lampu halogen ditempatkan pada sisi atas kotak tepat dibawah panel

surya yang akan diamati. Sensor temperatur diletakkan pada tengah panel surya.

Tabel 1. Panel surya pada 1000watt/m<sup>2</sup> temperatur 25°C

Parameter	Nilai
Daya Masimum	10 watt
Tegangan Daya Maksimum	18 volt
Arus Daya Maksimum	0,56 ampere
Tegangan Open Circuit	21,7 volt
Arus Short Circuit	0,59 ampere

### 2.2. Perancangan Rangkaian Daya

*Buck boost converter* berfungsi untuk mengubah level tegangan DC, baik ke level yang lebih tinggi maupun ke level yang lebih rendah. *Buck boost converter* merubah polaritas dari tegangan keluaran terhadap tegangan masukan[6]. Parameter yang digunakan dalam perancangan *buck boost converter* adalah sebagai berikut.

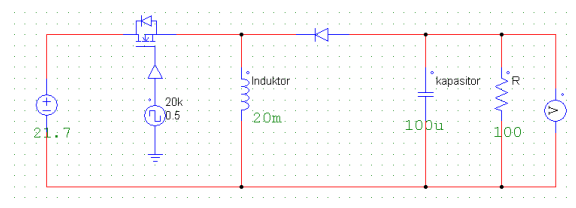
Tabel 2. Parameter perancangan *buck boost converter*

Parameter	Nilai
Tegangan Masukan	21,7 volt
Tegangan keluaran	159,133 volt
Arus maksimum	0,56 ampere
Frekuensi	20 kHz

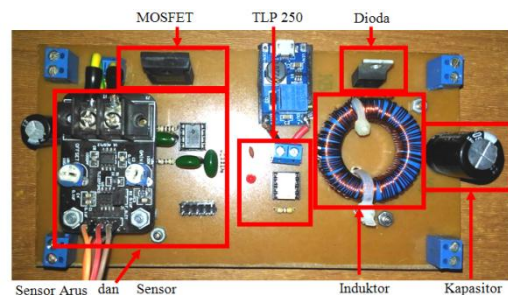
Terdapat 4 komponen utama dalam buck boost converter yaitu *Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor* (MOSFET), dioda, induktor, kapasitor dan resistor sebagai beban. MOSFET digunakan sebagai komponen *switching* yang dikontrol menggunakan PWM.

Tabel 3. Komponen rangkaian *buck boost converter*

Komponen	Tipe/Nilai
MOSFET	IRFP260N
Dioda	MUR1560
Induktor	20 mH
Kapasitor	100µF/160 V



(a) Simulasi rangkaian Buck Boost Converter



(b) Rangkaian Buck Boost Converter

Gambar 2. *Buck boost converter*

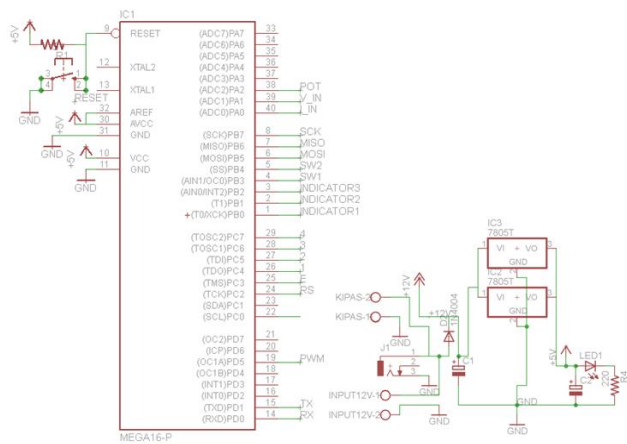
### 2.3. Perancangan Rangkaian Kontrol

Rangkaian kontrol membutuhkan sumber arus bolak-balik (AC) satu fasa yang berasal dari rangkaian jala-jala PLN dengan tegangan 220 volt dan frekuensi 50 Hz. Pada rangkaian kontrol adaptor *switching* diturunkan menjadi 12 volt untuk rangkaian sistem minimum mikrokontroler ATmega16 dan adaptor *switching* 5 volt untuk suplai *booster* rangkaian pemecuan TLP250.

#### 2.3.1. Sistem Minimum Mikrokontroler

Sistem minimum mikrokontroler adalah rangkaian elektronika yang terdiri dari komponen dasar yang dibutuhkan mikrokontroler agar berfungsi dengan baik. Mikrokontroler digunakan sebagai pembacaan sensor arus dan tegangan yang kemudian memberikan perhitungan dengan metode algoritma MPPT dan memberikan sinyal PWM ke rangkaian daya.

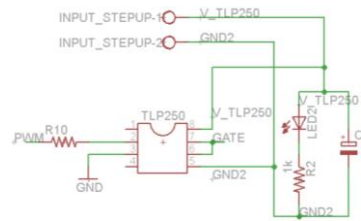
Rangkaian sistem minimum menggunakan ATmega16 dengan sumber *clock* pada internal *crystal oscillator* 8MHz yang berfungsi untuk memberikan sinyal agar mikrokontroler dapat memproses data. Regulator LM7805 sebagai catu daya.



Gambar 3. Skematik rangkaian ATmega16

#### 2.3.2. Rangkaian Driver MOSFET

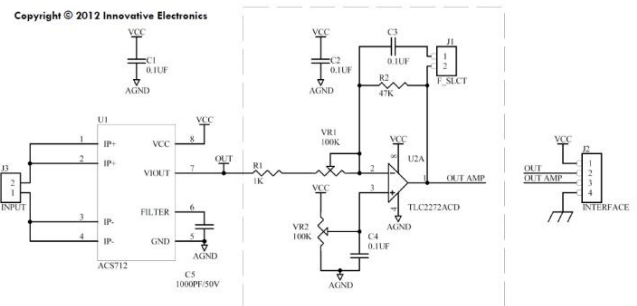
Rangkaian TLP250 digunakan untuk mengisolasi dan menguatkan sinyal PWM level tegangan 5 volt yang dibangkitkan mikrokontroler menjadi level tegangan yang lebih tinggi dengan sistem ground terpisah dan cukup untuk memicu MOSFET yang membutuhkan tegangan  $V_{GS} \pm 20V$ [7].



Gambar 4. Rangkaian TLP250

#### 2.3.3. Sensor Arus

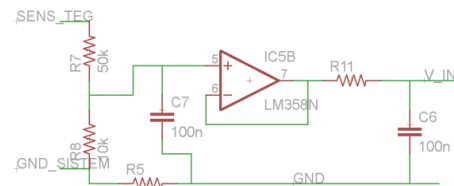
Sensor arus yang digunakan adalah ACS712 merupakan Hall Effect current sensor, yaitu arus yang dibaca mengalir melalui kabel tembaga menghasilkan medan magnet kemudian ditangkap oleh integrated Hall IC dan diubah menjadi tegangan proporsional[8]. Data yang berupa tegangan analog tersebut terlebih dahulu melalui OP-AMP sebagai buffer, dan outputnya digunakan sebagai input ADC mikrokontroler.



Gambar 5. Sensor ACS712 dan OpAmp[9]

#### 2.3.4. Sensor Tegangan

Sensor tegangan yang digunakan adalah rangkaian pembagi tegangan[10]. Nilai maksimum input *buck boost converter* 21,7 V, sehingga dibutuhkan nilai dari R1 sebesar 50 kΩ dan R2 sebesar 10 kΩ. Tegangan keluaran pembagi tegangan terlebih dahulu melalui OP-AMP agar dibuffer dan kemudian diteruskan sebagai input ADC mikrokontroler.



Gambar 6. Rangkaian sensor tegangan

**2.4. Perancangan Algoritma MPPT**

Algoritma MPPT digunakan untuk mencari titik daya maksimumnya. Algoritma yang digunakan adalah *incremental conductance*. Metode ini bekerja berdasarkan gradien kurva P-V atau kurva P-I karakteristik panel surya[11].

Karakteristik P-V panel surya merupakan fungsi daya terhadap tegangan, mencapai titik maksimum ketika gradien-nya bernilai nol.

$$\frac{dP}{dV} = 0 \tag{1}$$

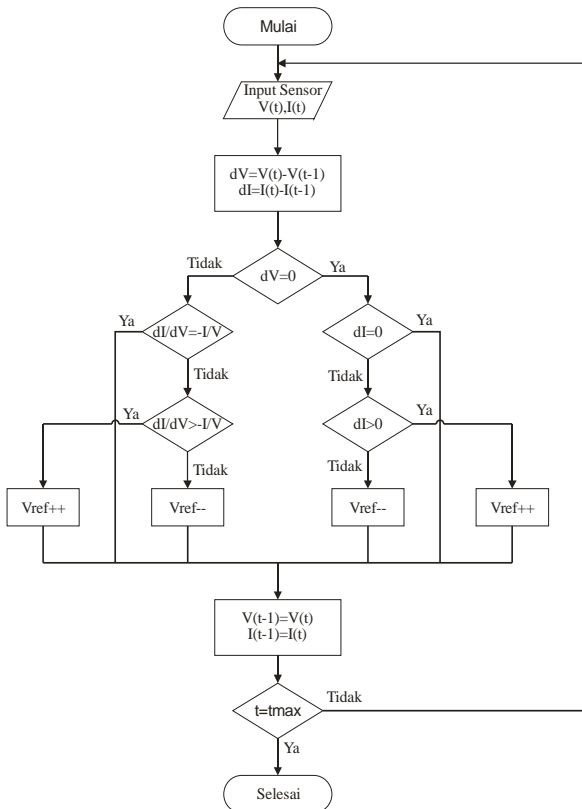
Karena  $P = V \cdot I$ , maka:

$$\frac{d(V \cdot I)}{dV} = \frac{V \cdot dI + dV \cdot I}{dV}$$

$$V \frac{dI}{dV} + I = 0$$

$$\frac{dI}{dV} = -\frac{I}{V}$$

Flowchart dari algoritma *Incremental Conductance* ditunjukkan oleh Gambar 7.

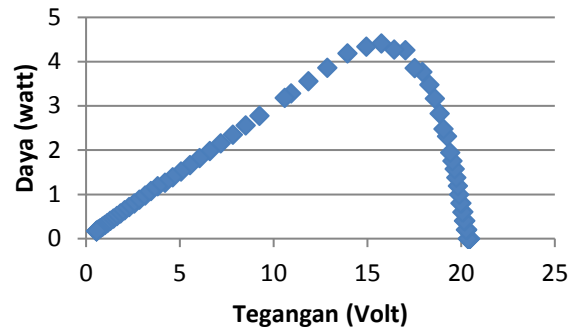


Gambar 7. Flowchart Incremental Conductance

**3. Hasil dan Analisa**

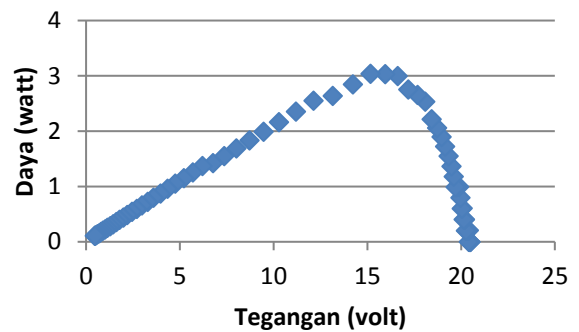
**3.1. Pengujian Panel Surya**

Pengambilan data arus dan tegangan dilakukan menggunakan nilai irradiansi lampu halogen 1000 watt/m<sup>2</sup> dan 750 watt/m<sup>2</sup> serta temperatur yang dijaga konstan 29°C.



Gambar 8. Kurva daya dengan tegangan pada irradiansi 1000watt/m<sup>2</sup> temperatur 29°C

Pada Gambar 8 kurva daya dengan tegangan dapat diperoleh daya maksimum berada pada titik daya 4,42 watt dengan tegangan 15,8 volt pada saat irradiansi 1000 watt/m<sup>2</sup> dan temperatur 29°C.



Gambar 9. Kurva daya dengan tegangan pada irradiansi 750watt/m<sup>2</sup> temperatur 29°C

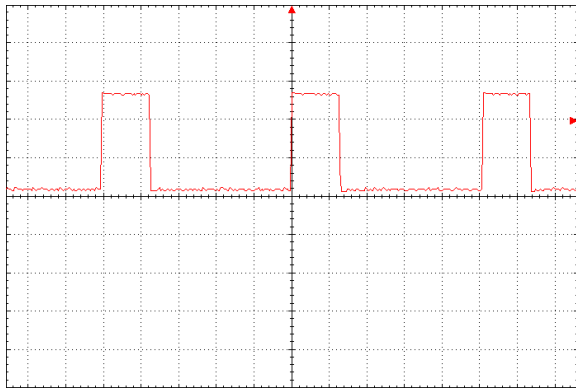
Pada Gambar 9 kurva daya dengan tegangan dapat diperoleh daya maksimum berada pada titik daya 3,03 watt dengan tegangan 15,18 volt pada saat irradiansi 750 watt/m<sup>2</sup> dan temperatur 29°C.

**3.2. Pengujian Rangkaian Kontrol**

Pengujian rangkaian kontrol dilakukan untuk mengetahui nilai gelombang keluaran PWM mikrokontroller, sensor arus, sensor tegangan dan gelombang keluaran optocoupler TLP250.

**3.2.1. Pengujian PWM Mikrokontroller**

Gambar 10 menunjukkan output pin PWM PORTD.5 dimana pengamatan dilakukan pada V/div 2 volt dan Time/div 10 μs.



Gambar 10. Gelombang keluaran PWM 25%

### 3.2.2. Pengujian Sensor Arus

Pengujian dilakukan dengan membandingkan nilai arus multimeter SANWA PC5000 dengan nilai arus yang ditampilkan mikrokontroler yang kemudian akan didapatkan error dari nilai selisih pembacaan arus multimeter SANWA PC5000 dan nilai arus mikrokontroler.

Tabel 4. Pengujian Arus Input dan Arus Sensor

Beban ( $\Omega$ )	Arus Input (A)	Arus Sensor (A)	Error (%)
100	0,06	0,06	0
50	0,13	0,13	0
33,3	0,2	0,2	0
25	0,28	0,27	3,57
20	0,35	0,34	2,86

Berdasarkan data pada Tabel 4 didapatkan error rata-rata pembacaan sensor arus ACS712 sebesar 1,28%. Hal ini disebabkan karena perhitungan pembulatan nilai konstanta pada mikrokontroler yang tidak tepat dan sensor ACS712 dipengaruhi oleh medan magnet disekitar sensor yang disebabkan induktor pada rangkaian.

### 3.2.3. Pengujian Sensor Tegangan

Pengujian dilakukan dengan membandingkan nilai tegangan multimeter SANWA PC5000 dengan nilai tegangan yang ditampilkan mikrokontroler yang kemudian akan didapatkan error dari nilai selisih pembacaan tegangan multimeter SANWA PC5000 dan nilai tegangan input mikrokontroler.

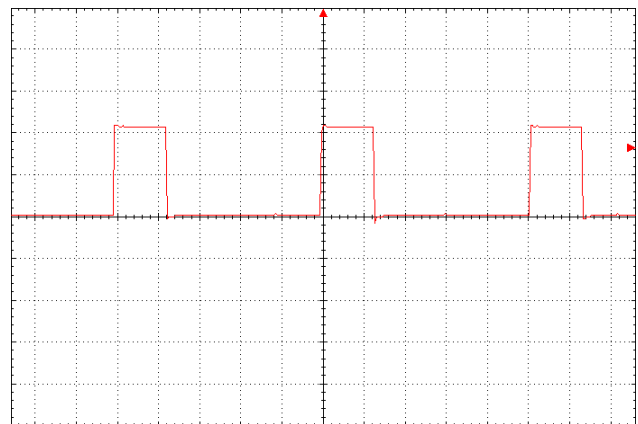
Tabel 5. Pengujian tegangan input dan tegangan sensor

Tegangan Input (volt)	Tegangan Sensor (volt)	Error (%)
2	2,12	2,91
4	4,15	4,49
6	6,2	2,65
8	8,32	3,35
10	10,33	3,09
12	12,4	3,07
14	14,51	3,42
16	16,62	3,61
18	18,63	3,5
20	20,74	3,29

Berdasarkan data pada Tabel 5 didapatkan error rata-rata pembacaan sensor tegangan sebesar 3,24%. Hal ini disebabkan karena nilai dari sensor tegangan yang terdiri dari resistor memiliki toleransi 5% dari nilai yang tertera pada gelang resistor tersebut. Perhitungan pembulatan nilai konstanta dan nilai konversi nilai analog ke digital pada mikrokontroler yang tidak presisi menyebabkan semakin besar nilai tegangan input maka nilai pembacaan sensor semakin besar selisihnya.

### 3.2.3. Pengujian Rangkaian TLP250

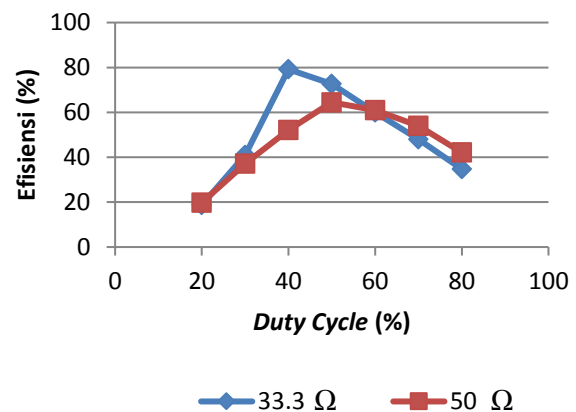
Gambar 10 menunjukkan output pin PWM PORTD.5 dimana pengamatan dilakukan pada V/div 10 volt dan Time/div 10  $\mu$ s.



Gambar 11. Gelombang keluaran TLP250 25%

### 3.3. Pengujian Rangkaian Daya

Pengujian *buck boost converter* dilakukan untuk mengukur tegangan masukan, arus masukan, tegangan keluaran, arus keluaran, dan perhitungan efisiensi rangkaian *buck boost converter*. Pengujian *buck boost converter* bertujuan untuk mengetahui efisiensi dari *buck boost converter* yang dibuat.



Gambar 12. Perbandingan efisiensi *buck boost converter*

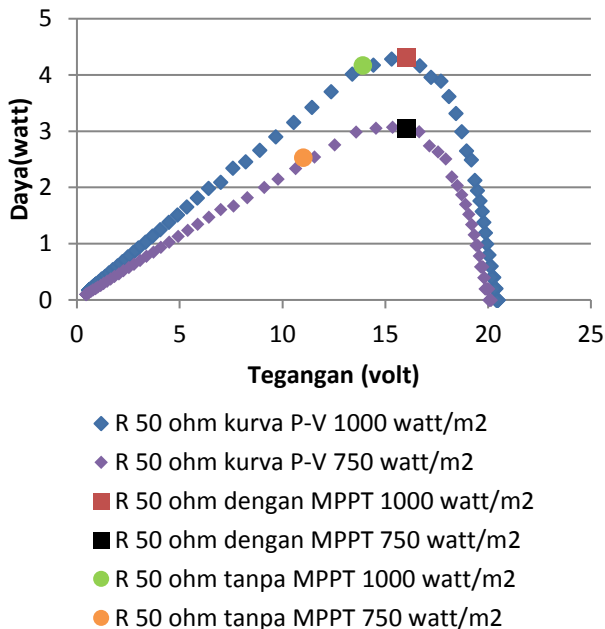
Nilai efisiensi yang tidak mencapai 100% disebabkan karena adanya daya yang terbuang dalam komponen *buck boost converter*. Komponen MOSFET dan dioda pada *buck boost converter* terdapat *switching* frekuensi yang menyebabkan berkurangnya daya pada saat *switching*. Komponen induktor menyebabkan terbuangnya daya karena induktor yang digunakan memiliki nilai yang besar dan menyebabkan lilitannya bertambah banyak sehingga resistansinya semakin besar.

### 3.4. Pengujian Algoritma MPPT

Pengujian Algoritma dilakukan dengan membandingkan titik daya menggunakan MPPT dengan titik daya tanpa MPPT pada kurva karakteristik P-V. Pengujian juga dilakukan dengan perubahan variasi resistansi beban pada masing-masing variasi iradiasi.

#### 3.4.1. Pengujian MPPT pada Kurva Karakteristik P-V

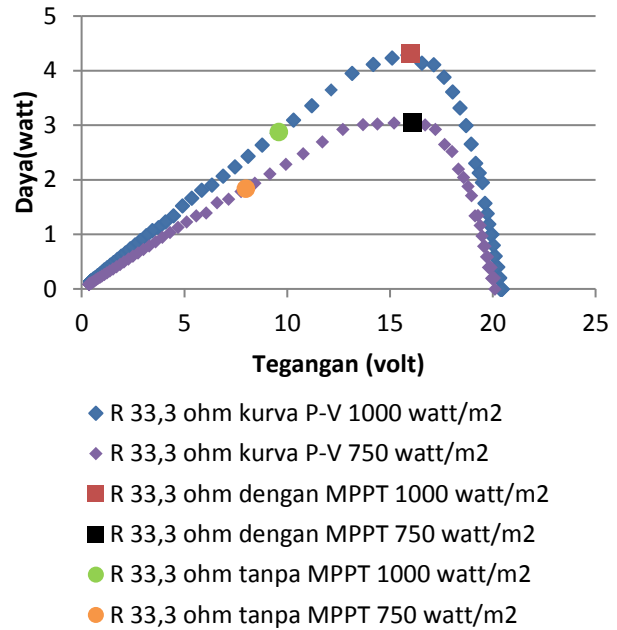
Pengujian MPPT pada kurva karakteristik P-V panel surya dilakukan dengan membuat titik daya pada kurva karakteristik P-V panel surya dengan iradiasi 1000 watt/m<sup>2</sup> temperatur 29°C dan kurva karakteristik P-V panel surya dengan iradiasi 750 watt/m<sup>2</sup> temperatur 29°C. Titik daya dengan MPPT dan titik daya tanpa MPPT dibandingkan dengan ditempatkan pada kurva karakteristik yang telah dibuat.



Gambar 13. Grafik titik daya R 50 Ω dengan MPPT dan tanpa MPPT pada kurva P-V

Pada Gambar 13 daya pada resistansi beban 50 Ω tanpa MPPT belum mencapai daya maksimum kurva karakteristik P-V panel surya saat iradiasi 1000 watt/m<sup>2</sup> sebesar 4,17 watt dan saat iradiasi 750 watt/m<sup>2</sup> sebesar

2,53 watt. Titik daya maksimum MPPT algoritma *Incremental Conductance* pada saat irradiasi 1000 watt/m<sup>2</sup> temperatur 29°C resistansi beban 50 Ω sebesar 4,48 watt yang berada pada nilai maksimum kurva karakteristik P-V panel surya. Titik daya maksimum MPPT algoritma *Incremental Conductance* pada saat irradiasi 750 watt/m<sup>2</sup> temperatur 29°C resistansi beban 50 Ω sebesar 3,02 watt yang berada pada nilai maksimum kurva karakteristik P-V panel surya.

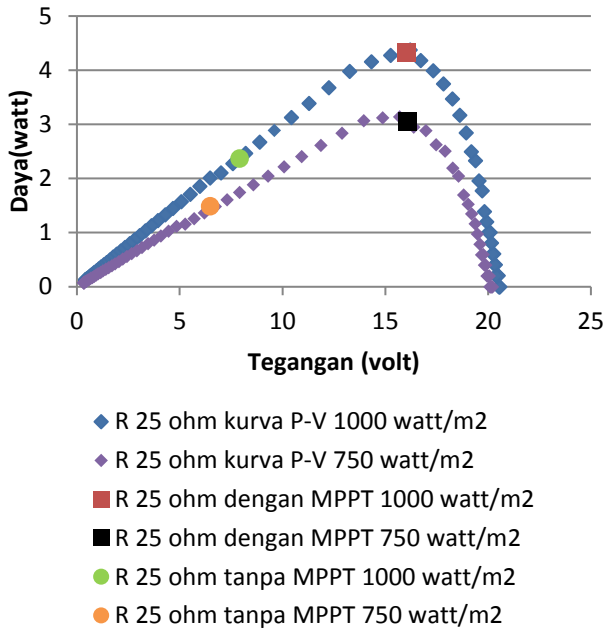


Gambar 14. Grafik titik daya R 33,3 Ω dengan MPPT dan tanpa MPPT pada kurva P-V

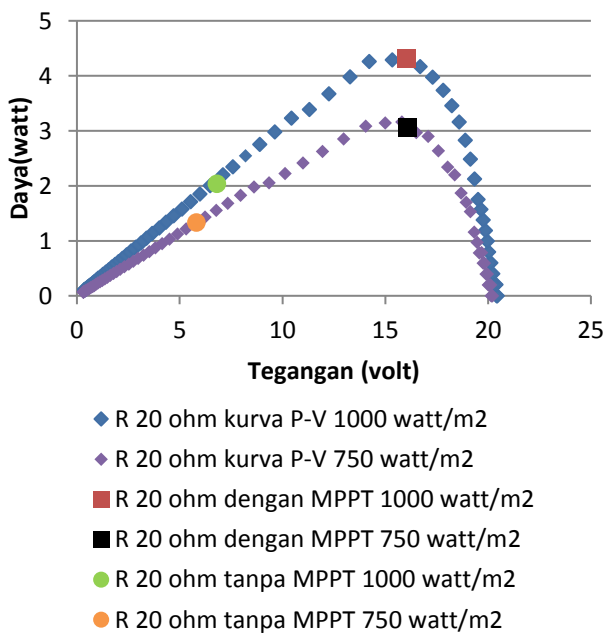
Pada Gambar 14 daya pada resistansi beban 50 Ω tanpa MPPT belum mencapai daya maksimum kurva karakteristik P-V panel surya saat irradiasi 1000 watt/m<sup>2</sup> sebesar 2,88 watt dan saat irradiasi 750 watt/m<sup>2</sup> sebesar 1,84 watt. Titik daya maksimum MPPT algoritma *Incremental Conductance* pada saat irradiasi 1000 watt/m<sup>2</sup> temperatur 29°C resistansi beban 33,3 Ω sebesar 4,32 watt yang berada pada nilai maksimum kurva karakteristik P-V panel surya. Titik daya maksimum MPPT algoritma *Incremental Conductance* pada saat irradiasi 750 watt/m<sup>2</sup> temperatur 29°C resistansi beban 33,3 Ω sebesar 3,02 watt yang berada pada nilai maksimum kurva karakteristik P-V panel surya.

Pada Gambar 15 daya pada resistansi beban 50 Ω tanpa MPPT belum mencapai daya maksimum kurva karakteristik P-V panel surya saat irradiasi 1000 watt/m<sup>2</sup> sebesar 2,37 watt dan saat irradiasi 750 watt/m<sup>2</sup> sebesar 1,48 watt. Titik daya maksimum MPPT algoritma *Incremental Conductance* pada saat irradiasi 1000 watt/m<sup>2</sup> temperatur 29°C resistansi beban 25 Ω sebesar

4,32 watt yang berada pada nilai maksimum kurva karakteristik P-V panel surya. Titik daya maksimum MPPT algoritma *Incremental Conductance* pada saat irradiansi 750 watt/m<sup>2</sup> temperatur 29°C resistansi beban 25 Ω sebesar 3,02 watt yang berada pada nilai maksimum kurva karakteristik P-V panel surya.



Gambar 15. Grafik titik daya R 25 Ω dengan MPPT dan tanpa MPPT pada kurva P-V

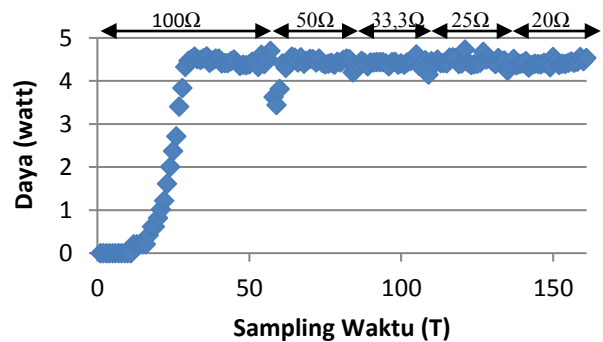


Gambar 16. Grafik titik daya R 20 Ω dengan MPPT dan tanpa MPPT pada kurva P-V

Pada Gambar 16 daya pada resistansi beban 50 Ω tanpa MPPT belum mencapai daya maksimum kurva karakteristik P-V panel surya saat irradiansi 1000 watt/m<sup>2</sup> sebesar 2,04 watt dan saat irradiansi 750 watt/m<sup>2</sup> sebesar 1,33 watt. Titik daya maksimum MPPT algoritma *Incremental Conductance* pada saat irradiansi 1000 watt/m<sup>2</sup> temperatur 29°C resistansi beban 20 Ω sebesar 4,23 watt yang berada pada nilai maksimum kurva karakteristik P-V panel surya. Titik daya maksimum MPPT algoritma *Incremental Conductance* pada saat irradiansi 750 watt/m<sup>2</sup> temperatur 29°C resistansi beban 20 Ω sebesar 3,02 watt yang berada pada nilai maksimum kurva karakteristik P-V panel surya.

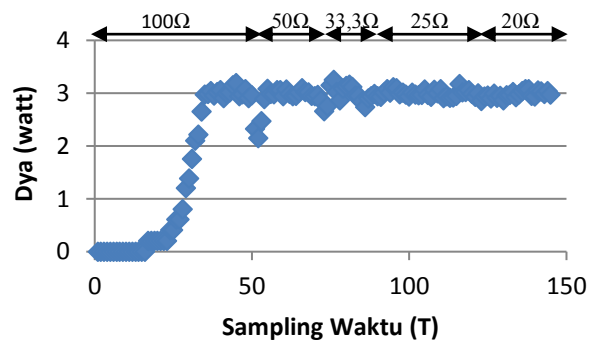
### 3.4.2. Pengujian MPPT dengan Perubahan Resistansi

Pengujian dilakukan dengan perubahan 5 variasi resistansi beban 100 Ω, 50 Ω, 33,3 Ω, 25 Ω dan 20 Ω. Pengujian dilakukan dengan irradiansi lampu halogen sebesar 1000 watt/m<sup>2</sup> dan nilai temperatur panel surya konstan 29°C.



Gambar 17. Grafik MPPT irradiansi 1000 watt/m<sup>2</sup> temperatur 29°C

Berdasarkan data grafik diatas dapat disimpulkan bahwa algoritma MPPT *Incremental Conductance* sudah berhasil mencari daya maksimumnya. Daya maksimum rata-rata yang dihasilkan pada percobaan yang dilakukan adalah 4,42 watt pada irradiansi 1000 watt/m<sup>2</sup> dengan temperatur 29°C.



Gambar 18. Grafik MPPT irradiansi 750 watt/m<sup>2</sup> temperatur 29°C

Berdasarkan data grafik diatas dapat disimpulkan bahwa algoritma MPPT *Incremental Conductance* sudah berhasil mencari daya maksimumnya. Daya maksimum rata-rata yang dihasilkan pada percobaan yang dilakukan adalah 3,01 watt pada irradiansi 750 watt/m<sup>2</sup> dengan temperatur 29°C.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan pengukuran dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa rangkaian *Maximum Power Point Tracking* dengan *buck boost converter* menggunakan metode *Incremental Conductance* telah berhasil direalisasikan. Sistem MPPT mampu mencari daya maksimum rata-rata panel surya sebesar 4,42 watt pada irradiansi 1000 watt/m<sup>2</sup> temperatur 29°C, sedangkan daya tanpa MPPT pada resistansi 50 Ω sebesar 4,17 watt, 33,3 Ω sebesar 2,88 watt, 25 Ω sebesar 2,37 watt dan 20 Ω sebesar 2,04 watt. Irradiansi 750 watt/m<sup>2</sup> temperatur 29°C sebesar 3,01 watt, , sedangkan daya tanpa MPPT pada resistansi 50 Ω sebesar 2,53 watt, 33,3 Ω sebesar 1,84 watt, 25 Ω sebesar 1,48 watt dan 20 Ω sebesar 1,33 watt. Untuk pengembangan sistem dan hardware lebih lanjut, maka dapat diberikan saran-saran bahwa penelitian ini dapat dikembangkan lagi dengan menggunakan konverter yang lain seperti *sepic* atau *cuk* dan algoritma yang lain seperti *Fuzzy logic*.

#### Referensi

- [1]. Surojo, Mochamad.Ashari dan H.P.Mauridhi, "Desain dan Simulasi Maximum Power Point Tracking (MPPT) Sel Surya Menggunakan Fuzzy Logic Control untuk KontrolBoost Konverter," dipresentasikan di 7<sup>th</sup> Basic Science Nasional Proceeding, Malang, 2010.
- [2]. Fuad, Faishal., "Analisis Pengaruh Kenaikan Temperatur dan Variasi Irradiansi pada Tegangan, Arus dan Daya Keluaran Photovoltaic jenis Monocrystalline," Laporan Tugas Akhir, Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang, 2016.
- [3]. Hendra Laksono, Indhana Sudiharto, Abdul Nasir. "Sistem Tracker pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya untuk Emergency Rumah Tangga". Jurnal Elektro PENS, Vol.1, No.1, 2012.
- [4]. M.Stefan dan P.Anton, "Maximum Power Point Tracking : Algorithm and Software Development," Bachelor Thesis, Faculty of EEMCS, Delf University of Technology, 2012.
- [5]. E. Trishan dan P. L. Chapman, "Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol 22, no.2, hal 439-449, Juni, 2007.
- [6]. Powe Electronics Handbook, 2nd., Elsevier Inc, BY-NC-ND, USA, 2007.
- [7]. TLP250, Toshiba Corporation, Japan, 2007.
- [8]. AC712, Allegro MicroSystems, Worcester, Massachusetts, USA, 2013.
- [9]. DT-ense Current Sensor, Innovative Electronics, Jakarta, 2012.
- [10]. L. Tobing, Bonggas., Dasar-dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi, edisi kedua. Jakarta, Indonesia: Penerbit Erlangga, 2012.
- [11]. X. Weidong, "A Modifield Adaptive Hill Climbing Maximum Power Point Tracking (MPPT) Control Method for Photovoltaic Power System," Master Thesis, Departemen of Electrical and Computer Engineering, University of British Columbia, 2003.