

# Simulasi Maximum Power Point Tracking pada Panel Surya Menggunakan Simulink MATLAB

Wahyudi Budi Pramono<sup>1</sup>, Dwi Ana Ratna Wati<sup>2</sup>, Maryonid Visi Taribat Yadaka<sup>3</sup>

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta<sup>1,2,3</sup>  
wahyudi\_budi\_p@uii.ac.id<sup>1</sup>

## Abstrak

Matahari merupakan salah satu dari sumber energi terbarukan. Pemanfaatan sinar matahari menggunakan panel surya sebagai pembangkit listrik mulai dikembangkan untuk mengurangi penggunaan bahan bakar fosil. Panel surya memiliki keunggulan seperti ramah lingkungan karena tidak mempunyai limbah yang menyebabkan polusi, murah perawatan, dan mudah dalam penerapannya. Daya yang dihasilkan oleh panel surya dipengaruhi faktor suhu dan intensitas cahaya. Masalah utama penggunaan panel surya adalah efisiensi yang masih rendah. Penelitian ini menyajikan usaha untuk meningkatkan efisiensi konversi energi oleh panel surya dengan menggunakan metode *Maximum Power Point Tracking* [MPPT]. Prinsip utama metode ini adalah mengatur besar tegangan output dari panel surya agar diperoleh daya maksimum untuk setiap intensitas sinar matahari yang berbeda beda. Pengaturan tegangan output panel surya dilakukan dengan menggunakan *buck boost converter* yang dikendalikan dengan sinyal PWM dengan mempertimbangkan intensitas sinar matahari yang diterima panel surya. Hasil simulasi menunjukkan bahwa penggunaan metode ini daya keluaran panel surya lebih tinggi sebesar 64,78% - 87,06% dibandingkan tanpa MPPT.

Kata Kunci: *buck boost converter*, PWM, MPPT, panel surya

## 1. Pendahuluan

Matahari merupakan salah satu dari sumber energi terbarukan. Pemanfaatan sinar matahari menggunakan panel surya sebagai pembangkit listrik mulai dikembangkan untuk mengurangi penggunaan bahan bakar fosil. Panel surya memiliki keunggulan seperti ramah lingkungan karena tidak mempunyai limbah yang menyebabkan polusi, murah perawatan, dan mudah dalam penerapannya. Daya yang dihasilkan oleh panel surya dipengaruhi faktor suhu dan intensitas cahaya. Namun panel surya memiliki kekurangan dalam hal efisiensi yang rendah.

Selain itu karakteristik V-I panel surya adalah *non-linear* dan berubah terhadap radiasi dan suhu permukaan panel surya. Secara umum terdapat titik yang unik pada kurva V-I maupun V-P, yang dinamakan *Maximum Power Point* (MPP), dimana pada titik tersebut panel surya bekerja pada efisiensi maksimum dan menghasilkan daya keluaran yang paling besar. Letak dari MPP tidak diketahui tetapi dapat dicari menggunakan perhitungan atau algoritma penjejak. Oleh karena itu algoritma *Maximum Power Point Tracker* (MPPT) dibutuhkan untuk menjaga titik kerja panel surya agar berada pada titik MPP.

Penelitian tentang perancangan pengendali *fuzzy* untuk optimasi panel surya yang dilakukan oleh Wibisono (2010). Penelitian ini merancang sistem kendali untuk memaksimalkan transfer

daya dari panel surya. Penelitian ini dilakukan dengan cara mengukur keluaran dari NI DAQ USB-6009 yang dikontrol menggunakan logika *fuzzy* berupa sebuah sinyal tegangan DC yang kemudian diteruskan sebagai masukan ke pembangkit PWM (*Pulse Width Modulation*). Daya maksimal yang mampu dihasilkan pada penelitian ini sebesar 23,0317 watt.

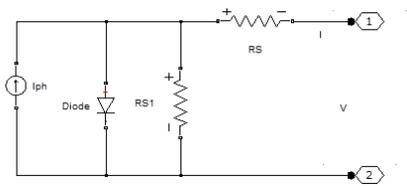
Penelitian selanjutnya tentang perancangan pengendali PID pada optimasi transfer daya panel surya berbasis LAB VIEW telah dilakukan oleh Agus Saputra (2011). Penelitian ini mengambil data dari panel surya berupa tegangan dan arus yang kemudian diakuisisi menggunakan NI-DAQ yang selanjutnya di-*interface* menggunakan LAB VIEW 8.6. Dengan menggunakan kontrol PID didapatkan daya maksimum 50,57 watt dengan tegangan 15,88 volt dan arus sebesar 3,184 ampere.

## 2. Teori

### 2.1 Panel Surya

Panel surya merupakan suatu alat yang terdiri dari sel surya yang dapat mengubah cahaya menjadi listrik. Panel surya sering disebut dengan sel *photovoltaic*. Untuk menyerap energi, panel surya bergantung pada efek *photovoltaic*. Penyerapan ini menyebabkan arus mengalir diantara dua lapisan bermuatan yang berlawanan.

Untuk mendekati kinerja dari panel surya, suatu modul matematis dikembangkan untuk menirukan karakteristik dari panel surya yang ditunjukkan gambar 1 (selva, 2013).



Gambar 1 Rangkaian model panel surya

Dari gambar 1 direpresentasikan dalam persamaan matematis sebagai berikut (salmi,2012) :

$$I = I_{ph} - I_s \left( \exp \frac{q(V + IR_s)}{NKT} - 1 \right) - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (1)$$

Keterangan,  $I_{ph}$  adalah arus *photovoltaic*,  $q$  ialah muatan elektron ( $1.602 \times 10^{-19}$  C),  $N$  ialah faktor ideal panel surya,  $K$  merupakan konstanta Boltzman ( $1.38 \times 10^{-23}$  JK<sup>-1</sup>), dan  $I_s$  ialah arus saturasi diode.

Untuk mengetahui nilai  $I_{ph}$  dapat diketahui dengan persamaan 2 (salmi,2012).

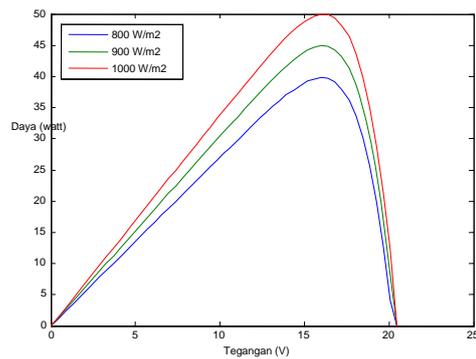
$$I_{ph} = (I_{sc} + K_i(T - 298)) \frac{\beta}{1000} \quad (2)$$

Keterangan,  $I_{sc}$  merupakan arus hubung singkat),  $T$  ialah temperatur panel surya dalam derajat kelvin,  $K_i$  merupakan koefisien suhu arus hubung singkat ( $0.0017A/^{\circ}C$ ), dan  $\beta$  adalah radiasi matahari ( $W/m^2$ ). Arus saturasi diode dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

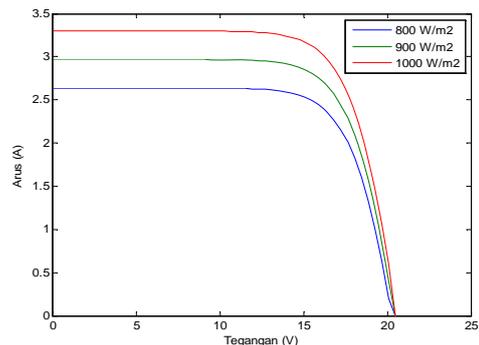
$$I_s = I_{rs} \left( \frac{T}{T_{ref}} \right)^3 \exp \left( \left( \frac{T}{T_{ref}} - 1 \right) \frac{q \cdot E_g}{TKN} \right) \quad (3)$$

Keterangan,  $I_{rs}$  merupakan arus saturasi diode pada temperatur 298,  $E_g$  adalah jarak energi dalam bahan semikonduktor.

Karakteristik keluaran panel surya berupa kurva *non linear* dan dipengaruhi oleh suhu dan radiasi sinar matahari yang ditunjukkan pada gambar 2 dan gambar 3. Gambar 2 merupakan grafik hubungan antara tegangan dengan daya panel surya dan gambar 3 merupakan grafik hubungan tegangan dengan arus panel surya menggunakan suhu 298 K, intensitas cahaya  $1000 W/m^2$ ,  $900 W/m^2$ , dan  $800 W/m^2$ .



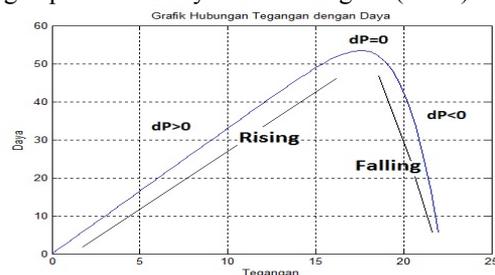
Gambar 2 Karakteristik V-P untuk level radiasi



Gambar 3 Karakteristik V-I untuk level radiasi

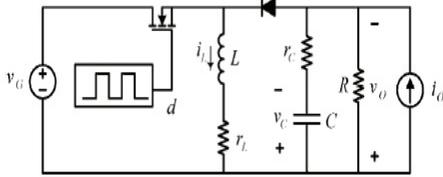
MPPT merupakan sistem elektronik yang dioperasikan pada sebuah panel surya sehingga panel surya bisa menghasilkan daya maksimum (Abouda,2013). Cara kerja dari MPPT ini adalah dengan mengubah titik operasi atau titik kerja pada kurva karakteristik P-V dari panel surya sehingga sistem DC-DC *converter* dapat memaksa panel surya untuk membangkitkan daya maksimum sesuai kemampuan panel surya pada setiap perubahan level intensitas penyinaran matahari. MPPT bukan pencarian secara mekanis yang menggeser arah modul panel surya sesuai arah matahari akan tetapi mengoptimalkan daya keluaran pada sistem pengendalinya (Babgei, 2012).

Gambar 4 menunjukkan prinsip kerja algoritma MPPT yang bekerja pada tiga daerah kondisi yakni kondisi saat kenaikan daya, kondisi saat puncak daya, dan kondisi saat penurunan daya. Kondisi saat kenaikan daya ditunjukkan oleh kenaikan grafik ke arah maksimum dengan perubahan daya bernilai positif ( $dP > 0$ ). Ketika berada di kondisi puncak, tidak ada perubahan daya ( $dP = 0$ ), sedangkan saat terjadi penurunan daya ditunjukkan oleh grafik yang menurun dengan perubahan daya bernilai negatif ( $dP < 0$ ).



Gambar 4 Prinsip kerja MPPT

**2.2 Buck boost converter**



Gambar 5 Rangkaian buck boost converter

Gambar 5 merupakan rangkaian *buck boost converter* yang merupakan gabungan dari *buck* dan *boost converter* dan berfungsi mengubah titik kerja daya keluaran panel surya (Modabbernia,2013). Rangkaian *buck boost converter* memiliki tegangan keluaran *converter* besar sedangkan arus keluaran *converter* kecil atau tegangan keluaran *converter* kecil sedangkan arus keluaran *converter* besar.

Berikut adalah hubungan antara tegangan dengan *duty cycle*.

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{I_{in}}{I_{out}} = \frac{D}{1-D} \quad (4)$$

Dari persamaan tersebut dapat diketahui

$$V_{out} = V_{in} \left( \frac{D}{1-D} \right) \quad (5)$$

$$I_{out} = I_{in} \left( \frac{1-D}{D} \right) \quad (6)$$

Keterangan

$V_{in}$  = tegangan masukan (volt).

$V_{out}$  = tegangan keluaran (volt).

$I_{in}$  = arus masukan (ampere).

$I_{out}$  = arus keluaran (ampere).

$D$  = *duty cycle* dengan nilai 0 sampai 1.

*Buck boost converter* digunakan untuk mengkonversi energi dari yang dihasilkan panel surya agar memperoleh daya listrik yang stabil di posisi puncak. Merujuk pada gambar 5 *buck boost converter* dapat dirumuskan dalam persamaan matematis sebagai berikut (Modabbernia, 2013):

$$i_L = - \frac{(r_L + r_m)(R + r_C) + (r_m - r_d)(R + r_C)}{L(R + r_C)} - \frac{R \cdot r_C \cdot D'}{L(R + r_C)} i_L - \frac{R \cdot D'}{L(R + r_C)} V_C + \frac{1 - D'}{L} V_G + \frac{R \cdot r_C \cdot D'}{L(R + r_C)} i_o + \frac{-1 + D'}{L} V_m - \frac{D'}{L} V_d \quad (7)$$

$$V_C = \frac{RD'}{(R + r_C)C} i_L - \frac{V_C}{(R + r_C)C} - \frac{R}{(R + r_C)} \quad (8)$$

$$V_o = \frac{R \cdot r_C \cdot D'}{R + r_C} i_L + \frac{R}{R + r_C} V_C - \frac{R \cdot r_C}{R + r_C} i_o \quad (9)$$

$$I_{out} = \frac{D' \cdot r_C}{R + r_C} i_L + \frac{V_C}{R + r_C} + \frac{R}{R + r_C} i_o \quad (10)$$

Keterangan:

$i_L$  : arus pada induktor

$V_c$  : tegangan pada kapasitor

$V_G$  : Tegangan Input

$V_o$  : tegangan *converter*

$I_{out}$  : arus output *converter*

$i_o$  : arus input

$r_L$  : hambatan pada induktor

$r_m$  : hambatan pada mosfet

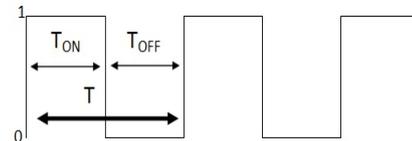
$r_C$  : hambatan pada kapasitor

$r_d$  : hambatan diode

$D'$  : *duty cycle* ketika *off*

**2.3 Pulse Width Modulation (PWM)**

*Pulse Width Modulation* (PWM) secara umum adalah sebuah cara memanipulasi lebar sinyal yang dinyatakan dengan pulsa dalam satu periode, untuk mendapatkan tegangan yang berbeda. Sinyal PWM pada umumnya memiliki amplitudo dan frekuensi dasar yang tetap, tetapi memiliki lebar pulsa yang bervariasi. Sinyal PWM dapat terlihat seperti gambar 6. Lebar pulsa PWM berbanding lurus dengan amplitudo sinyal asli yang belum termodulasi.



Gambar 6 Sinyal PWM

Penelitian ini menggunakan fungsi PWM sebagai data masukan kendali suatu perangkat *converter*. PWM digunakan untuk mengendalikan daya keluaran dari *converter*. Sinyal PWM memiliki frekuensi gelombang yang tetap akan tetapi *duty cycle* yang bervariasi dari 0 - 1.

Dari gambar 6, *duty cycle* dapat dirumuskan sebagai berikut:

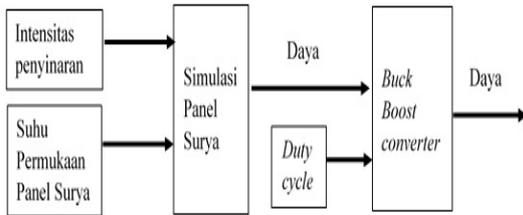
$$d = \frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}} \quad (11)$$

Dengan keterangan  $d$  adalah *duty cycle*,  $T_{on}$  merupakan waktu hidup, dan  $T_{off}$  adalah waktu *off*.

Penelitian ini akan mensimulasikan perangkat panel surya dan *buck boost converter* dengan menggunakan simulink MATLAB untuk mendapatkan nilai daya output maksimum. Pengaturan *buck boost converter* dilakukan dengan menggunakan PWM.

### 3. Metode

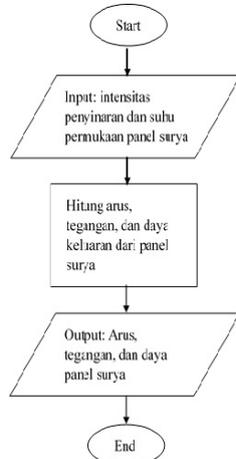
Perancangan sistem simulasi panel surya meliputi pemodelan panel surya, *duty cycle*, dan *buck boost converter*. Perancangan sistem pengendali ini, keseluruhan sistem disimulasikan dalam perangkat lunak, baik pemodelan panel surya maupun *buck boost converter*. Perancangan simulasi menggunakan fitur simulink yang terdapat pada MATLAB 7.8.0 R2009a



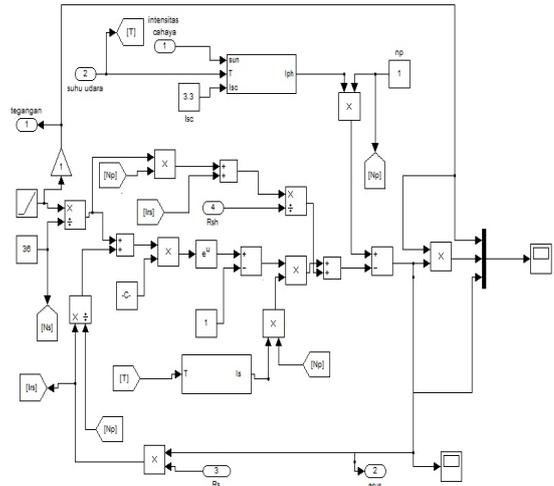
Gambar 7 Perancangan simulasi panel surya

#### 3.1 Perancangan simulasi panel Surya

Perancangan sistem panel surya dengan memanfaatkan fasilitas *toolbox* pada Simulink. Proses komputasi pada panel surya terdiri dari pembacaan input, memproses input, dan menampilkan output. Proses komputasi dalam bentuk diagram alir ditunjukkan gambar 8. Berdasarkan persamaan (1) panel surya dapat diimplementasikan ke dalam Simulink yang ditunjukkan gambar 9.



Gambar 8 Diagram alir simulasi panel surya

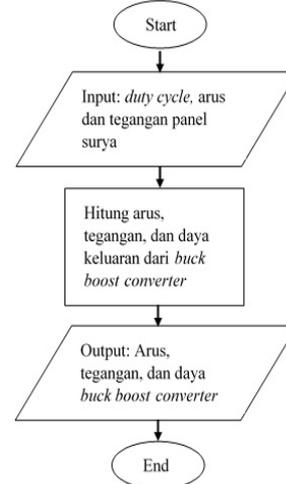


Gambar 9 Simulasi panel surya

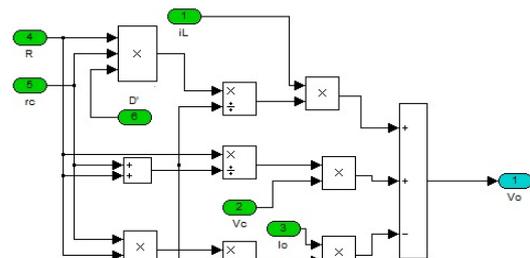
#### 3.2 Pemodelan buck boost converter

Perancangan sistem panel surya dengan memanfaatkan fasilitas *toolbox* pada Simulink. Proses komputasi pada panel surya terdiri dari pembacaan input, memproses input, dan menampilkan output. Proses komputasi dalam bentuk diagram alir ditunjukkan gambar 10.

Berdasarkan persamaan (9) tegangan keluaran *buck boost converter* dapat diimplementasikan ke dalam Simulink yang ditunjukkan gambar 11.

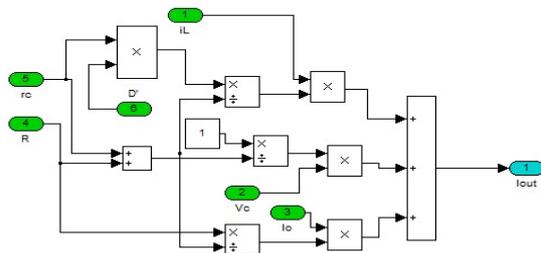


Gambar 10 Diagram alir buck boost converter



Gambar 11 Tegangan keluaran buck boost converter

Berdasarkan persamaan (10) arus keluaran *buck boost converter* dapat diimplementasikan ke dalam Simulink sebagai berikut:



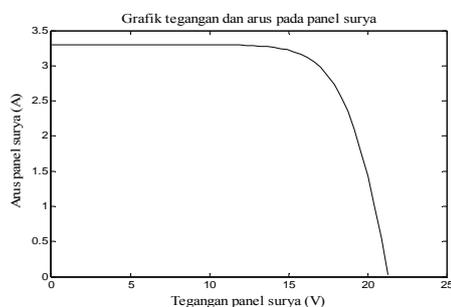
Gambar 12 Arus keluaran *buck boost converter*

#### 4. Hasil dan Pembahasan

Pengujian ini menampilkan hasil uji coba simulasi, analisis, dan pembahasan kinerja sebuah sistem MPPT. Pulsa PWM dioperasikan pada frekuensi 14 kHz dengan *duty cycle* 10 - 90%.

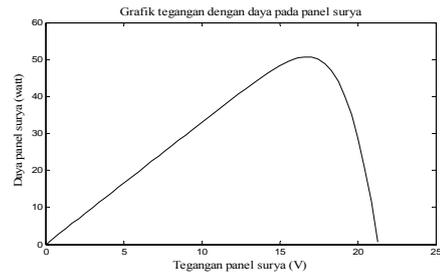
##### 4.1 Pengujian panel surya

Berdasarkan pengujian sistem kalang terbuka menggunakan intensitas penyinaran 1000 W/m<sup>2</sup> dan suhu permukaan panel surya 298 K diperoleh nilai tegangan naik dari 0 – 21 volt, sedangkan arus bergerak turun dari 3,3 – 0 ampere. Grafik hubungan tegangan dan arus yang ditunjukkan pada gambar 13.



Gambar 13 Pengaruh tegangan terhadap arus panel surya

Gambar 13 merupakan gambar hubungan antara tegangan dan arus dimana arus bernilai konstan hingga terjadi penurunan nilai arus ketika kenaikan nilai tegangan dari 0 – 21 volt. Berbeda dengan arus, daya memiliki kenaikan nilai hingga pada tegangan tertentu nilai daya berkurang. Pada simulasi ini daya mengalami kenaikan dari 0 – 50 watt pada tegangan 0 – 16,5 volt, tetapi saat tegangan naik dari 16,5 – 21,0 terjadi penurunan daya dari 50 – 0 watt. Grafik hubungan antara tegangan dan daya ditunjukkan pada gambar 14.



Gambar 14 Pengaruh tegangan terhadap daya panel surya

Tabel 1 Perbandingan *datasheet* dengan simulasi

Parameter	<i>Datasheet</i>	Simulasi	Error
Daya maksimum	50 watt	50,6 watt	1,20%
$I_{sc}$	3,3 A	3,3 A	0%
$V_{oc}$	22,2 V	21,3 V	4,05%
$V_{max}$	17,5 V	17,04 V	2,60%
$I_{max}$	3 A	2,97 A	1,00%

Perbandingan nilai *datasheet* panel surya dengan simulasi terlihat pada tabel 1. Berdasarkan tabel 1 diketahui bahwa nilai *error* daya maksimum sebesar 1,2%, *error* tegangan hubung buka sebesar 4,05%, *error* tegangan maksimal sebesar 2,6%, dan *error* arus maksimal sebesar 1,0%. Nilai *error* yang kurang dari 5% menunjukkan bahwa simulasi ini masih baik.

##### 4.2 Pengujian *buck boost converter*

Berdasarkan hasil pengujian menggunakan sistem kalang terbuka terjadi kenaikan tegangan dan daya sampai titik puncak dan kemudian turun pada saat kenaikan *duty cycle*. Lain halnya dengan arus ketika terjadi kenaikan *duty cycle* besar arus keluaran akan turun hingga titik terendah dan kemudian nilai arus akan meningkat.

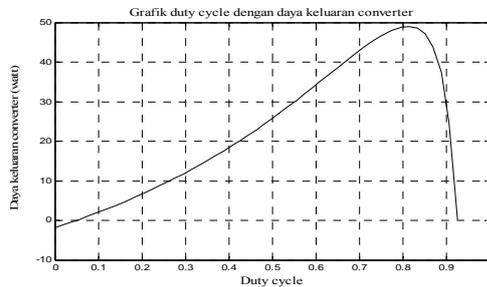
Berikut hasil pengujian dari *buck boost converter*:

Tabel 2 Pengujian *buck boost converter* dengan intensitas 1000 W/m<sup>2</sup> dan suhu 318 K

No	<i>Duty cycle</i>	$V_{output}$ (V)	$I_{output}$ (A)	$P_{output}$ (W)
1	10%	0,70	2,90	2,06
2	20%	2,33	2,84	6,64
3	30%	4,33	2,77	12,02
4	40%	6,83	2,68	18,35
5	50%	10,02	2,56	25,75
6	60%	14,11	2,42	34,16
7	70%	19,15	2,23	42,86
8	80%	23,44	2,08	48,82
9	90%	13,95	2,42	33,85

Berdasarkan tabel 2 nilai daya keluaran *buck boost converter* lebih rendah dari daya maksimal keluaran panel surya, akan tetapi tegangan keluaran *converter* lebih besar dari keluaran panel surya. Daya keluaran *converter* lebih rendah dari daya masukan karena di dalam *converter* tersebut terdapat rugi-rugi. Kerugian ini dapat diminimalkan dengan mengoptimalkan nilai *duty cycle*. *Duty cycle* dapat menaikkan daya hingga

maksimal pada nilai tertentu. Ketika *duty cycle* melewati titik puncak maka akan terjadi penurunan daya. Hasil pengujian keluaran daya *converter* tersebut ditunjukkan pada gambar 15.



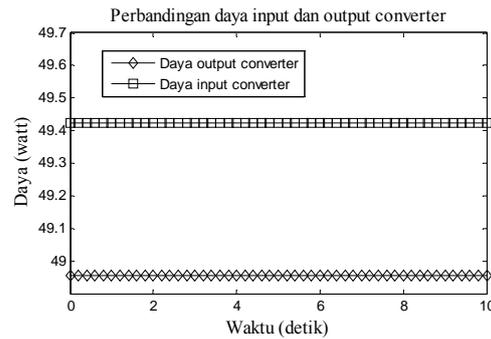
Gambar 15 Hubungan *duty cycle* dengan daya

Gambar 15 merupakan respons dari *converter* terhadap kenaikan *duty cycle*. Ketika *duty cycle* dinaikkan dari 0 - 90% maka mengakibatkan daya mengalami kenaikan dan mencapai titik puncak pada *duty cycle* tertentu dan kemudian turun. Nilai maksimal daya *converter* diperoleh pada saat *duty cycle* bernilai 81,49% dengan 48,95 watt.

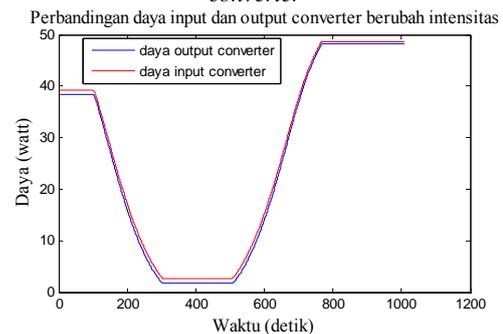
#### 4.3 Analisis Hasil Simulasi

Berdasarkan pengujian menggunakan *duty cycle* 81,49%, intensitas cahaya  $1000 \text{ W/m}^2$ , dan suhu panel surya  $45^\circ\text{C}$  diperoleh perbedaan arus panel surya dengan arus *converter* ditunjukkan pada gambar 16. Gambar 16 merupakan grafik hubungan daya input dan daya output *converter*. Daya input *converter* memiliki nilai 49,42 watt sedangkan daya keluaran *converter* 48,95 watt. Pengujian kedua menggunakan intensitas  $800 \text{ W/m}^2$ ,  $200 \text{ W/m}^2$ , dan  $980 \text{ W/m}^2$  dengan *duty cycle* 81,49% yang ditunjukkan gambar 17 dan 18.

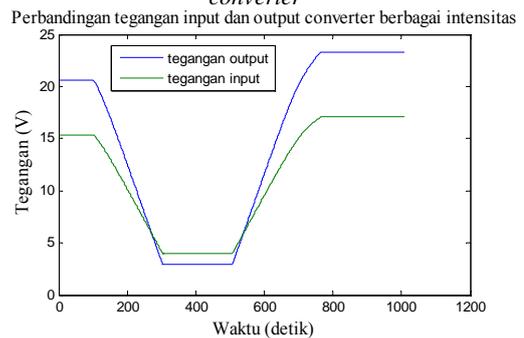
Gambar 17 merupakan perbandingan nilai daya input *converter* dengan output *converter* dengan perubahan intensitas dari  $800 \text{ W/m}^2$ ,  $200 \text{ W/m}^2$ , dan  $980 \text{ W/m}^2$ . Daya keluaran *converter* memiliki nilai yang lebih kecil dari daya input *converter*. Hal ini dikarenakan terdapat rugi-rugi dalam pemakaian *converter*. Gambar 18 merupakan grafik perbandingan tegangan input dan output dari *converter* dengan perubahan tingkat penyinaran. Nilai tegangan keluaran *converter* memiliki nilai yang lebih besar dari input. Hal ini dikarenakan karakteristik *converter* yang meningkatkan tegangan keluaran tetapi mengurangi nilai arus keluaran. Namun saat intensitas penyinaran kurang dari  $200 \text{ W/m}^2$  tegangan keluaran *converter* lebih rendah dari tegangan input *converter*.



Gambar 16 Perbandingan daya panel surya dengan daya *converter*



Gambar 17 Grafik perbandingan daya input dan output *converter*



Gambar 18 Grafik perbandingan tegangan input dan output *converter*

#### 4.4 Pengujian MPPT

Pengujian ini menggunakan panel surya yang terhubung beban langsung dan panel surya yang terhubung dengan *converter*. Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan daya maksimum panel surya pada tingkat intensitas cahaya dan suhu panel surya tertentu, serta mengetahui daya yang diserap beban tanpa menggunakan sistem MPPT.

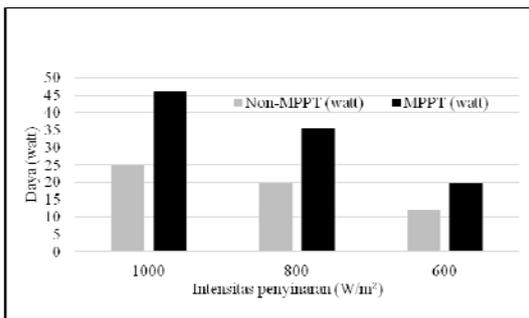
#### 4.5 Pengujian dengan perubahan intensitas

Pengujian ini menggunakan rangkaian panel surya yang terhubung beban dan panel surya yang terhubung *converter* dengan *duty cycle* 81,49%, suhu panel surya yang tetap, dan intensitas cahaya yang berubah. Pengujian ini juga menggunakan beban yang berubah dari 12 Ohm, 15 Ohm, dan 18 Ohm. Hasil pengujian panel surya dengan MPPT dan non-MPPT menggunakan suhu  $45^\circ\text{C}$  ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3 Perbandingan Daya antara sistem non-MPPT dengan sistem MPPT dengan Perubahan Intensitas

Beban (Ohm)	Intensitas ( $W/m^2$ )	Non-MPPT (watt)	MPPT (watt)	Persentase kenaikan (%)
12	1000	24,71	46,21	87,00
	800	19,61	35,43	80,67
	600	11,90	19,61	64,78
15	1000	19,77	36,97	87,00
	800	15,69	28,34	80,62
	600	9,52	15,69	64,81
18	1000	16,47	30,81	87,06
	800	13,07	23,62	80,71
	600	7,93	13,07	64,81

Pengujian ini menggunakan intensitas 1000  $W/m^2$ , 800  $W/m^2$ , dan 600  $W/m^2$  dengan hambatan 12 Ohm, 15 Ohm, dan 18 Ohm. Panel surya dengan sistem MPPT memiliki daya yang lebih besar daripada panel surya tanpa sistem MPPT. Selisih daya yang dihasilkan dari kedua sistem antara 7,71 watt hingga 14,34 watt dengan persentase 64,78% hingga 87,06%.



Gambar 19 Perbandingan Sistem MPPT dengan Non-MPPT menggunakan beban 12 Ohm

Gambar 19 merupakan hasil pengujian menggunakan sistem MPPT dan non-MPPT pada beban 12 Ohm dengan intensitas 1000  $W/m^2$ , 800  $W/m^2$ , dan 600  $W/m^2$ . Dari gambar 19 diketahui bahwa pada intensitas 1000  $W/m^2$  nilai daya yang menggunakan sistem MPPT mempunyai nilai 46,21 watt sedangkan panel surya non-MPPT 24,71 watt. Pada intensitas 800  $W/m^2$  MPPT memiliki daya 35,43 watt sedangkan non-MPPT 19,61 watt. Dengan menggunakan intensitas 600  $W/m^2$  sistem MPPT mengeluarkan daya sebesar 19,61 watt sedangkan sistem non-MPPT mengeluarkan daya sebesar 11,90 watt. Berdasarkan gambar 19 dapat diketahui bahwa penggunaan sistem MPPT memiliki daya keluaran yang lebih besar daripada sistem non-MPPT.

#### 4.6 Pengujian dengan perubahan suhu

Pengujian ini menggunakan rangkaian panel surya yang terhubung beban dan panel surya yang terhubung *converter* dengan suhu panel

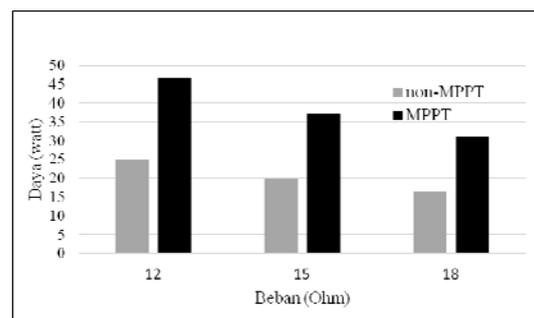
surya yang berubah dan intensitas cahaya yang tetap. Pengujian ini juga menggunakan beban yang berubah dari 12 Ohm, 15 Ohm, dan 18 Ohm. Hasil pengujian panel surya dengan MPPT dan non-MPPT menggunakan intensitas pencahayaan 1000  $W/m^2$  ditunjukkan pada tabel 4.

Tabel 4 Perbandingan Daya antara sistem non-MPPT dengan sistem MPPT dengan Perubahan Suhu Panel Surya

Beban (Ohm)	Suhu Panel Surya (K)	Non-MPPT (watt)	MPPT (watt)	Persentase kenaikan
12 Ohm	298	25,14	47,16	87,43%
	313	24,82	46,44	87,10%
	318	24,71	46,21	87,00%
15 Ohm	323	24,60	45,98	86,91%
	298	20,11	37,70	87,46%
	313	19,86	37,15	87,05%
18 Ohm	318	19,77	36,97	87,00%
	323	19,68	36,79	86,94%
	298	16,76	31,42	87,47%
Ohm	313	16,55	30,96	87,06%
	318	16,47	30,81	87,06%
	323	16,40	30,65	86,89%

Pengujian ini menggunakan 298, 313 K, 318, dan 323 K dengan hambatan 12 Ohm, 15 Ohm, dan 18 Ohm. Panel surya dengan sistem MPPT memiliki daya yang lebih besar daripada panel surya tanpa sistem MPPT. Selisih daya yang dihasilkan dari kedua sistem antara 14,24 watt – 21,98 watt dengan persentase 86,89% - 87,46%.

Pada tabel 4 diketahui bahwa daya yang dihasilkan panel surya berbanding terbalik dengan suhu permukaan panel surya. Semakin tinggi suhu permukaan panel surya maka daya yang dihasilkan lebih kecil akan tetapi ketika suhu permukaan panel surya semakin rendah maka daya yang dihasilkan semakin besar. Kenaikan nilai daya panel surya juga tergantung pada beban yang terpasang. Beban yang terpasang berbanding terbalik dengan daya yang dihasilkan panel surya. Semakin besar beban yang terpasang maka daya keluaran akan semakin kecil sebaliknya semakin kecil beban yang terpasang maka daya keluaran semakin besar. Grafik hubungan pemasangan beban yang berbeda dengan suhu permukaan 313 K ditunjukkan pada gambar 20.



Gambar 20 Perbandingan sistem MPPT dengan non-MPPT dengan beban yang berubah

Gambar 20 merupakan pengujian sistem MPPT dengan non-MPPT dengan intensitas cahaya  $1000 \text{ W/m}^2$ , temperatur 313 K, dan hambatan bervariasi dari 12 Ohm, 15 Ohm, dan 18 Ohm. Sistem non-MPPT memiliki daya sebesar 24,82 watt, 19,86 watt, dan 16,55 watt sedangkan sistem MPPT memiliki daya 46,44 watt, 37,15 watt, dan 30,96 watt. Daya yang dihasilkan panel surya mengalami penurunan seiring dengan penambahan beban yang terpasang pada rangkaian. Semakin besar beban yang terpasang maka daya yang diserap semakin besar pula akan tetapi daya yang dapat dimanfaatkan semakin kecil.

### 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian tugas akhir ini diperoleh beberapa kesimpulan antara lain:

1. Panel surya menggunakan sistem MPPT menghasilkan daya keluaran yang lebih besar daripada Panel Surya tanpa sistem MPPT. Persentase selisih daya panel surya tanpa MPPT dan panel surya dengan MPPT 64,78% - 87,06%.
2. Daya yang dihasilkan oleh panel surya lebih dipengaruhi oleh intensitas cahaya yang diserap oleh panel surya daripada suhu permukaan panel surya. Selisih daya yang dihasilkan dari kedua sistem antara 14,24 watt – 21,98 watt dengan persentase 86,89% - 87,46%
3. Daya maksimal panel surya dapat dihasilkan dengan menggunakan *duty cycle* 81,49%

### Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kami sampaikan kepada Jurusan Teknik Elektro yang telah membantu dalam pendanaan penelitian ini

### Daftar Pustaka

- Abouda, S., 2013, Design, Simulation, and Voltage Control of Standalone Photovoltaic System Based MPPT Application to a Pump system, *International Journal of Renewable Energy Research*, vol. 3, pp. 541-542.
- Babgei A. F., 2012, *Rancang Bangun Maximum Power Point Tracker (MPPT) pada Panel Surya Dengan menggunakan metode Fuzzy*, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- Modabbernia M. R., 2013, The State Space Average Model of Buck-Boost Switching Regulator Including all of The System Uncertainties, *International Journal on*

*Computer Science and Engineering (IJCSSE)*, vol. 5, pp. 120-125.

- Salmi, T., 2012, Matlab/Simulink Based Modelling of Solar Photovoltaic Cell, *International Journal of Renewable Energy Research*, vol. 2, pp. 231-215.
- Saputra A., 2011, *Perancangan Pengendali PID pada Optimasi Transfer Daya Panel Surya Berbasis Lab View*, Jurusan Teknik Elektro UII, Yogyakarta.
- Selva S., 2013, Modeling and Simulation of Incremental Conductance MPPT Algorithm for Photovoltaic Applications, *International Journal of Scientific Engineering and Technology*, vol. 2, pp. 681-684.
- Wibisono R. D. G., 2010, *Perancangan Pengendali Fuzzy untuk Optimasi Panel Surya*, Jurusan Teknik Elektro UII, Yogyakarta.