

# MEMAKSIMALKAN DAYA KELUARAN SEL SURYA DENGAN MENGGUNAKAN CERMIN PEMANTUL SINAR MATAHARI (REFLECTOR)

Rismanto Arif Nugroho<sup>\*)</sup>, Mochammad Facta, and Yuningtyastuti

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang  
Jl. Prof. Sudharto, SH, kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

<sup>\*)</sup> Email: [rismanto.arif@yahoo.com](mailto:rismanto.arif@yahoo.com)

## Abstrak

Indonesia merupakan negara yang terletak di garis khatulistiwa yang memiliki tingkat iradiasi harian matahari rata-rata relatif tinggi yaitu sebesar 4,5 kWh/m<sup>2</sup>/hari. Hal ini mendasari pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebagai sumber energi listrik baru terbarukan untuk menggantikan sumber energi fosil yang memiliki keterbatasan jumlah serta polusi yang mencemari lingkungan. Sel surya (sel surya) sebagai unit PLTS memiliki kendala daya keluaran yang tidak cukup besar dan sangat tergantung oleh kondisi alam. Salah satu metode pengoptimalan sel surya adalah dengan menggunakan cermin pemantul sinar matahari (reflector). Tugas akhir ini membahas mengenai pengaruh penggunaan reflector serta sudut kemiringan reflector yang tepat untuk mendapatkan daya keluaran yang optimal. Berdasarkan hasil pengujian didapatkan bahwa konfigurasi reflektor yang optimal yaitu ditempatkan pada kedua sisi sel surya dengan sudut kemiringan masing-masing 70° terhadap modul sel surya. Dengan sumber halogen, didapati kenaikan daya mencapai 202.75% pada tingkat iradiasi 185.21 Watt/m<sup>2</sup>, 102.43% pada tingkat iradiasi 90.29 Watt/m<sup>2</sup>. dan 17.01% pada tingkat iradiasi 1188 Watt/m<sup>2</sup>. Kenaikan juga terjadi pada aplikasi beban DC-DC converter dengan peningkatan 79.75% pada tingkat iradiasi 257 Watt/m<sup>2</sup>, 43.54 pada tingkat iradiasi 128Watt/m<sup>2</sup>, dan 9.6% pada tingkat iradiasi 1574Watt/m<sup>2</sup>.

*Kata Kunci* : Sel surya, reflector, iradiasi, daya output

## Abstract

Indonesia is a country located at the equator which has daily solar irradiation levels on average are relatively high at 4.5 kWh/m<sup>2</sup>/day. This underlies the use of Solar Power Plant (PLTS) as a renewable source of electrical energi to replace fossil energy sources which having limited the amount and pollute the environment. Sel suryas as a solar unit has small power output and very dependent on sky conditions. One of the methods to optimize power output of sel surya is using reflector. This final project explores the effect of using reflector and find the most optimal reflector tilt angle to obtain the maximum output power. Based on the test results showed that the most optimal configuration reflector is placed on both sides of the sel surya with a slope angle of each 70° to sel surya module. With a halogen source, the power output up to 202.75% at the level of irradiation 185.21 Watt/m<sup>2</sup>, 102.43% at the level of irradiation 90.29 Watt/m<sup>2</sup>. and 17:01% at level irradiation 1188 Watt/m<sup>2</sup>. The increase also occurred in the application of load DC-DC converter with a 79.75% increase at the level of irradiation 257 Wat /m<sup>2</sup>, 43.54% at the level of irradiation 128Watt/m<sup>2</sup>, and 9.6% at the level of irradiation 1574Watt / m<sup>2</sup>.

*Keywords* : Sel surya, reflector, irradiation, power output

## 1. Pendahuluan

Penggunaan energi fosil semakin hari semakin meningkat, Salah satu konsumsi energi fosil digunakan sebagai pembangkitan tenaga listrik. Di sisi lain, ketersediaan energi fosil ini semakin hari semakin menipis. Selain itu energi fosil juga memiliki dampak lingkungan yang tidak baik.

Melihat dampak negatif dari energi fosil, harus ada upaya untuk menggantikan energi konvensional ini menjadi energi baru terbarukan. Salah satunya adalah sel surya (sel surya). Secara astronomis Indonesia terletak pada 6° LU – 11° LS dan 95° BT – 145° BT . Hal ini menempatkan Indonesia di kawasan tropis dan terlewati garis khatulistiwa sehingga tingkat iradiasi harian matahari rata-rata relatif tinggi yaitu sebesar 4,5

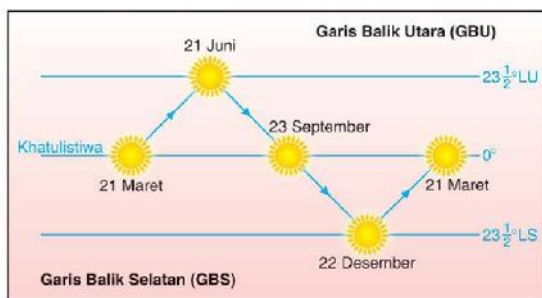
kWh/m<sup>2</sup>/hari. [2] dan berpotensi besar untuk pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).

Namun sel surya sebagai unit PLTS ini bukanlah tanpa kendala. Daya keluaran sel surya sangat kecil dibandingkan dengan pembangkit listrik jenis lain. Selain itu, sel surya juga sangat terpengaruh terhadap kondisi alam seperti kondisi awan, perubahan posisi matahari meliputi perubahan gerak semu harian serta gerak semu tahunan matahari.

Oleh karena itu dibutuhkan metode untuk meningkatkan daya keluaran sel surya. Salah satu metode yang dapat diterapkan adalah dengan penggunaan cermin pemantul sinar matahari (*reflector*). Pada tugas akhir ini akan dibahas mengenai pengaruh penggunaan *reflector* terhadap iradiasi, tegangan, arus serta daya keluaran sel surya. Selain itu, digunakan pula beban pengganti elektronik berupa *DC-DC converter* tipe *buck*. Dari hasil penelitian ini diharapkan adanya peningkatan daya keluaran sel surya dengan menggunakan *reflector* pada konfigurasi yang tepat.

Intensitas radiasi matahari merupakan banyaknya energi yang diterima bumi per satuan luas per satuan waktu (Wh/m<sup>2</sup>) yang nilainya berubah – ubah tergantung pada beberapa faktor, seperti letak astronomis suatu tempat terutama garis lintang lokasi, gerak semu harian, tahunan matahari, dan keadaan atmosfer bumi. [6]

Gerak semu harian matahari mempengaruhi pergantian siang dan malam sehingga mempengaruhi besar intensitas radiasi matahari yang dapat diterima oleh bumi setiap jamnya sedangkan gerak semu tahunan matahari mempengaruhi pergantian musim yang terjadi pada belahan bumi di dunia setiap tahun sehingga mempengaruhi besar intensitas radiasi matahari yang dapat diterima oleh bumi setiap bulan. Gerak semu tahunan matahari dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1 Gerak semu tahunan matahari

Radiasi matahari yang dapat diterima oleh panel surya dibagi menjadi 3 jenis, yaitu :

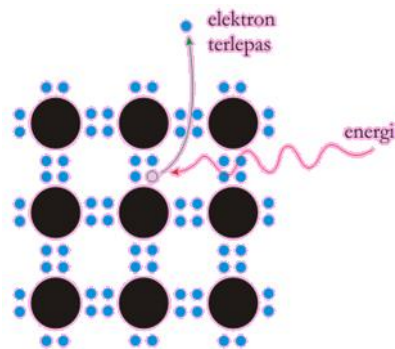
a. Radiasi langsung (*direct radiation* atau *beam radiation*) yaitu intensitas radiasi matahari yang langsung diterima di permukaan bumi.

b. Radiasi tersebar (*diffuse radiation*) yaitu radiasi matahari yang diterima di permukaan bumi karena pantulan awan dan partikel di atmosfer bumi.

c. Radiasi pantulan yaitu radiasi yang dipantulkan oleh permukaan yang berdekatan, besarnya dipengaruhi oleh reflektansi permukaan yang berdekatan.

Sel surya merupakan teknologi pengkonversi energi matahari menjadi energi listrik. Sel surya terbuat dari bahan semikonduktor dengan lebar celah energi relatif kecil ( $\pm 1\text{eV}$ ).

Energi dari cahaya matahari disebut juga sebagai foton. terlihat ketika foton diserap oleh material semikonduktor maka energi foton akan membentur elektron di dalam semikonduktor sehingga beberapa elektron ini akan mendapatkan energi yang cukup untuk meninggalkan pita valensi dan berpindah ke pita konduksi. Ketidakadaan elektron pada pita valensi akibat perpindahan elektron ke pita konduksi tersebut akan menghasilkan ikatan kovalen yang tidak lengkap yang sering disebut *hole* atau lubang seperti pada Gambar 2.



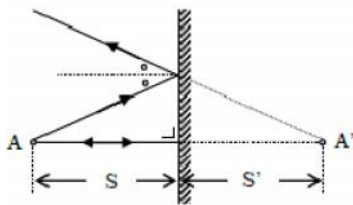
Gambar 2 Proses pelepasan elektron pada silikon

Ikatan kovalen yang tidak lengkap yang berisi *hole* atau lubang akan membuat elektron valensi suatu atom relatif lebih mudah untuk meninggalkan ikatan kovalennya dan mengisi *hole* ini. Suatu elektron valensi yang meninggalkan ikatan kovalennya untuk mengisi *hole* akan membentuk *hole* pada ikatan kovalen yang ditinggalkan dan ikatan ini akan diisi oleh elektron dari atom lain yang berpindah untuk mengisi *hole* yang kosong dan membentuk *hole* lain sehingga pembentukan *hole* pada suatu atom akan berpindah berlawanan dengan gerak elektron. Pergerakan *hole* dari suatu titik merupakan proses pemindahan muatan negatif dalam arah yang berlawanan. *Hole* pada suatu atom merupakan muatan positif yang besarnya sama dengan elektron sehingga arus dapat dihasilkan melalui dua hal yaitu pergerakan elektron bebas pada pita konduksi dan pergerakan elektron akibat pembentukan *hole* pada pita valensi. Pergerakan elektron dari kedua pita energi akan mengakibatkan timbulnya arus pada terminal sel surya yang terhubung dengan beban.

Pembentukan bayangan oleh cermin merupakan gejala yang dihasilkan oleh karena adanya pemantulan cahaya oleh cermin yang sudah tentu memenuhi hukum pemantulan, yaitu :

- a. Sudut datang sama dengan sudut pantul
- b. Sinar datang, sinar pantul dan garis normal terletak pada satu bidang datar.

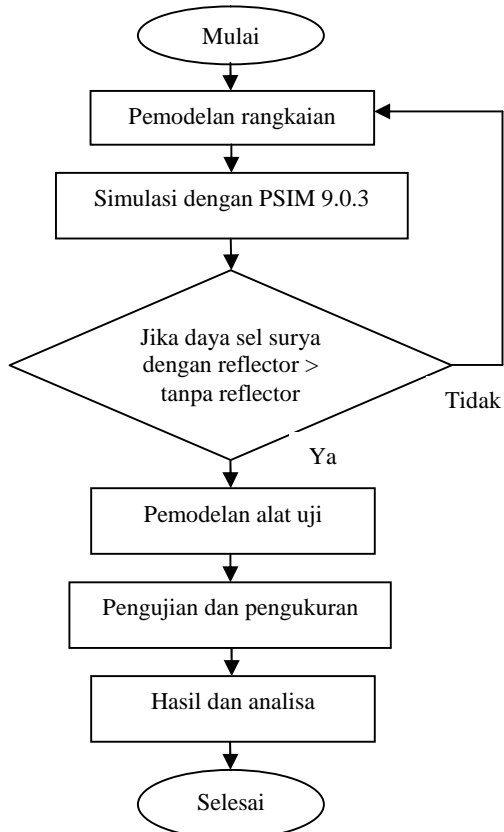
Sebuah benda titik A yang berada di depan cermin datar memancarkan atau dilalui oleh sinar datang yang menuju ke cermin datar. Akibat adanya pemantulan cahaya oleh cermin datar maka terbentuk bayangan A' di belakang cermin datar. Lintasan sinar pada pembentukan bayangan itu dapat digambarkan seperti pada gambar 3



Gambar 3 Pembentukan bayangan benda titik oleh cermin datar

## 2. Metode

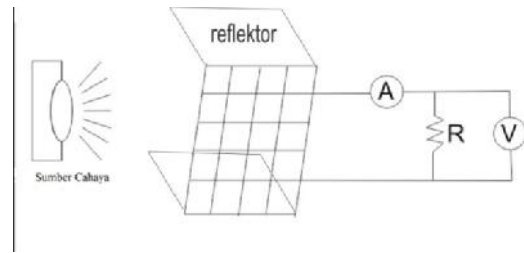
Berikut diagram alir penelitian :



Gambar 4 Diagram alir simulasi

## 2.1 Pemodelan Rangkaian

### 2.1.1 Beban Resistif

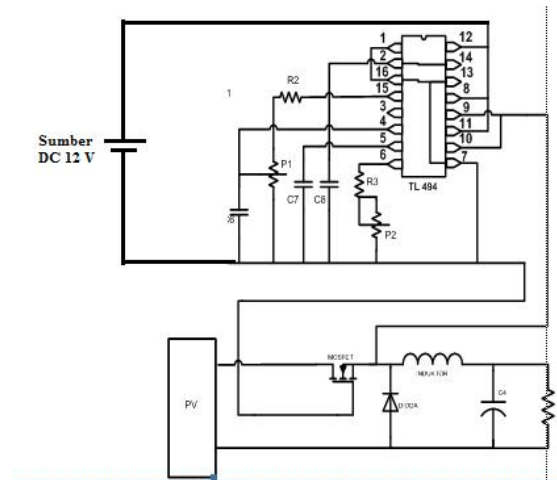


Gambar 5 Rangkaian sel surya berbeban resistif

Digunakan beban resistif berupa resistor batu 39Ω 15 watt. Penentuan besar resistansi dijelaskan pada sub bab 2.2 dimana besar nilai resistansi ditentukan oleh besar daya yang mungkin diperoleh oleh sel surya.

### 2.2.2 Rangkaian Beban DC Chopper

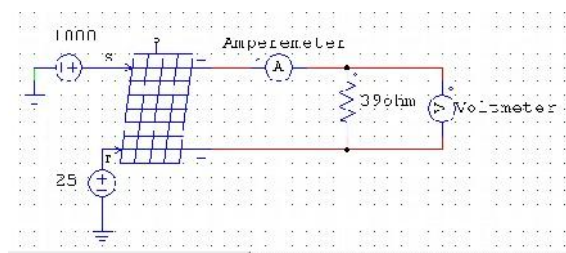
Rangkaian beban *DC chopper* dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik V-I dan P-V dari sel surya dengan membandingkan unjuk kerja sel surya tanpa *reflector* dan sel surya dengan *reflector* bersudut optimal.



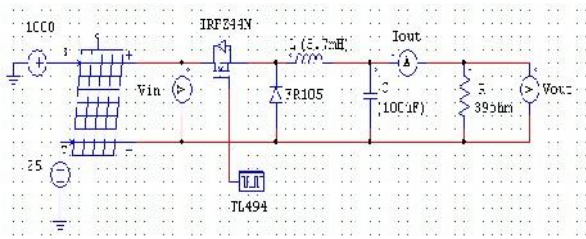
Gambar 6 Skema rangkaian buck converter

## 2.2 Simulasi dengan Software PSIM 9.0.3

Berikut rangkaian percobaan pada PSIM

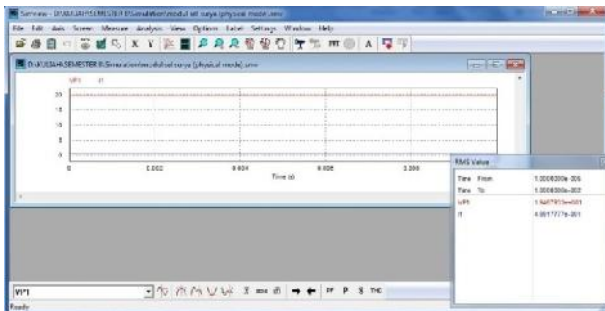


Gambar 7 Rangkaian sel surya berbeban resistif

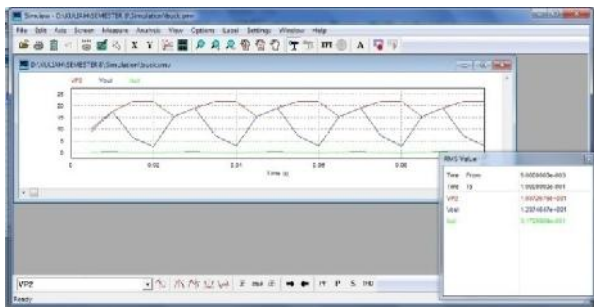


Gambar 8 Rangkaian sel surya berbeban buck converter

Berikut hasil masing-masing simulasi :



Gambar 9 Hasil simulasi rangkaian sel surya berbeban resistif



Gambar 10 Rangkaian sel surya berbeban buck converter

Dengan menggunakan sel surya 10 watt peak (Wp) didapati bahwa dengan beban resistif  $39\Omega$  15watt menghasilkan tegangan keluaran sebesar 19.46 Volt dan arus 0.49 Ampere. Sementara dengan beban buck converter didapati tegangan input buck sebesar 19.37 Volt, tegangan output 12.37 volt, dan 0.31 Ampere.

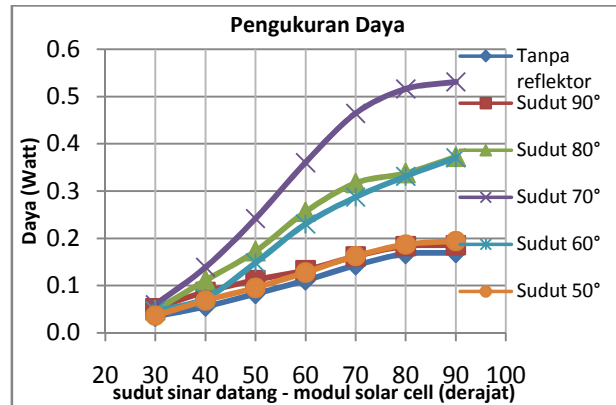
### 3 Hasil dan Analisa

Pengujian dilakukan dengan menerapkan beberapa vareasi meliputi : sumber cahaya berupa sumber lampu halogen 1000 watt dan sumber cahaya matahari, vareasi posisi sumber cahaya meliputi halogen tegak lurus dengan sel surya dan halogen ditempatkan dengan keniringan  $14^\circ$  terhadap sel surya, dan vareasi terakhir adalah vareasi beban berupa beban resistif dan beban buck converter.

#### 3.1 Pengujian dengan Sumber Halogen

##### 3.1.1 Sumber Halogen Tegak Lurus dengan Modul Sel surya

Berikut grafik daya keluaran sel surya berdasarkan vareasi penempatan sudut modul surya terhadap sinar datang dan vareasi sudut kemiringan reflector terhadap modul sel surya.

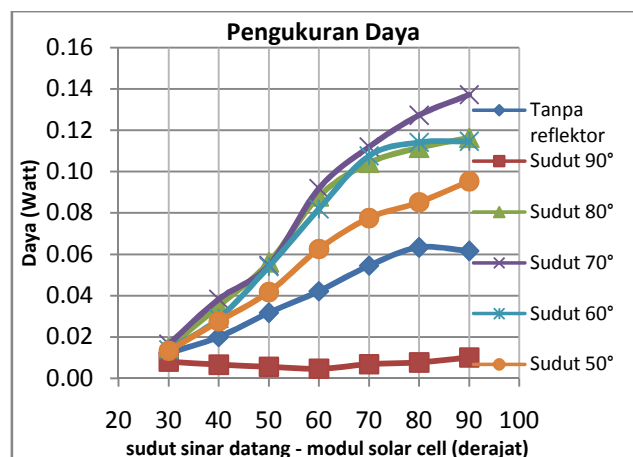


Gambar 11 Grafik pengukuran daya

Berdasarkan Gambar 11 menunjukkan bahwa daya terbesar dihasilkan pada sel surya dengan penempatan reflector  $70^\circ$  dengan besar daya rata-rata 0.33 Watt. Sedangkan nilai daya terkecil adalah sel surya tanpa reflector dengan besar daya rata-rata 0.109 Watt. Terjadi peningkatan daya sebesar dua kali lipat atau 202.75% bila dibandingkan antara daya sel surya dengan sudut  $70^\circ$  dan daya sel surya tanpa reflector .

#### 3.1.2 Sumber Halogen dengan Posisi Kemiringan $14^\circ$

Berikut grafik daya keluaran sel surya berdasarkan vareasi penempatan sudut modul surya terhadap sinar datang dan vareasi sudut kemiringan reflector terhadap modul sel surya.



Gambar 12 Grafik pengukuran daya

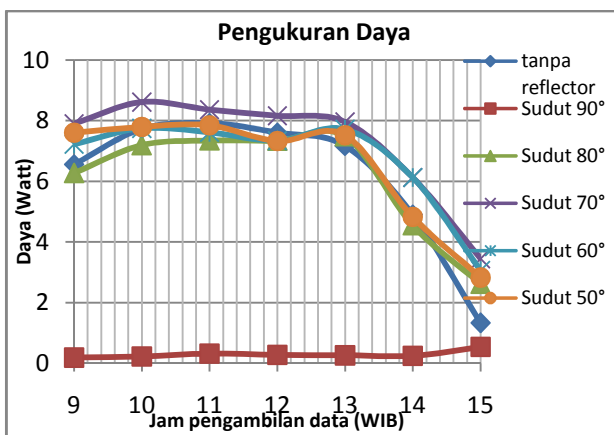
Dilihat dari gambar 12 daya keluaran sel surya terbesar adalah pada sudut reflector  $70^\circ$  sebesar 0.083 Watt. Sedangkan daya terkecil adalah dengan sudut reflector

90° sebesar 0,007. Hal ini dikarenakan adanya *partial shading* yang menutupi sebagian permukaan sel surya.

Jika dibandingkan dengan tanpa penggunaan *reflector*, penggunaan *reflector* dengan sudut 70° dapat meningkatkan daya sebesar 102.43%. Hal ini dikarenakan sinar halogen yang diterima sel surya ketika ditempatkan *reflector* dengan sudut 70° akan bertambah sehingga daya pun akan bertambah.

### 3.2 Pengujian dengan Sumber Matahari

Pada pengujian ini, dilakukan pengukuran besar daya pada setiap sudut *reflector* pada setiap 1 jam dari pukul 09:00 WIB sampai pukul 15:00 WIB. Berikut data percobaan pengukuran iradiasi yang diterima sel surya dengan sumber sinar matahari



Gambar 13 Grafik pengukuran daya

Berdasarkan gambar 13 dapat terlihat bahwa daya keluaran terbesar adalah pada sel surya dengan sudut *reflector* 70° sebesar 7.22 Watt. Sedangkan daya keluaran terendah adalah daya keluaran dengan sudut *reflector* 90°. Hal ini dikarenakan adanya *partial shading* yang menutup sebagian permukaan sel surya secara horizontal sehingga terjadi pemotongan arus pada bagian yang terbayangi. Hal ini mengakibatkan daya menjadi drop sebesar 0.29 Watt.

Dari hasil pengujian, terjadi peningkatan daya keluaran sel surya dengan sudut *reflector* 70° sebesar 17.01% dibandingkan dengan sel surya tanpa *reflector*. Perhitungan daya didapatkan dari perkalian tegangan serta arus keluaran sel surya.

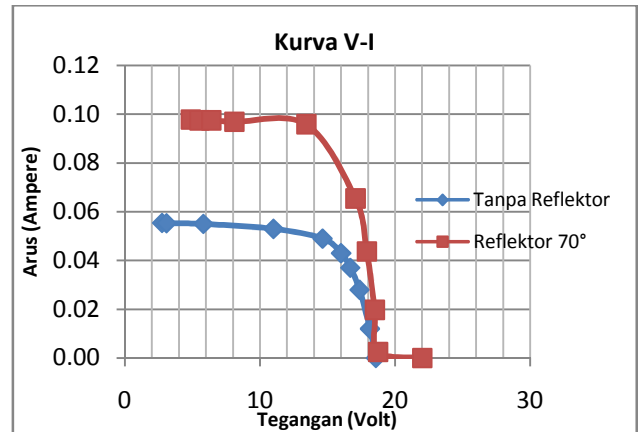
### 3.3 Pengujian dengan Beban Buck Converter

Pengujian *buck converter* ini bertujuan untuk mengetahui kurva karakteristik V-I dan P-V. Beban *buck converter* ini juga sebagai pengganti beban elektronik yang telah dipakai pada pengujian sebelumnya.

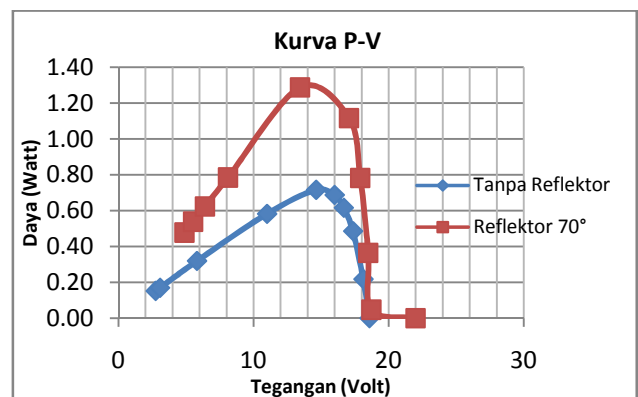
### 3.3.1 Pengujian Buck converter dengan Sumber Halogen

#### 3.3.1.1 Sumber halogen tegak lurus dengan sel surya

Pengujian ini bertujuan untuk melihat karakteristik kurvs V-I dan P-V sel surya yang mendapat sumber sinar lurus dengan modul



Gambar 14 Kurva V-I

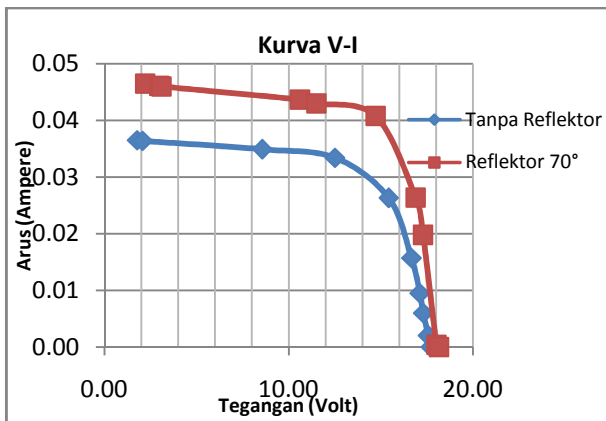


Gambar 15 Kurva P-V

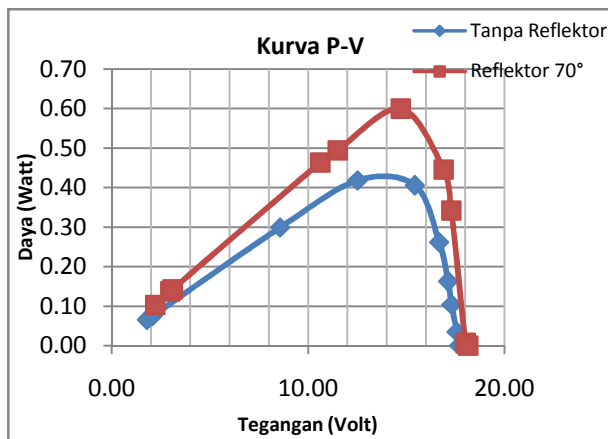
Pada Gambar 14 dan 15 terlihat terjadi peningkatan daya pada penggunaan *reflector* bersudut 70° dibandingkan dengan tanpa *reflector*. Berdasarkan titik paling maksimal yaitu pada tegangan 13.44 Volt dan arus 0.095 Ampere, Peningkatan daya yang terjadi sebesar 78.77%.

#### 3.3.1.2 Sumber halogen dengan kemiringan 14° terhadap modul sel surya

Pengujian ini bertujuan untuk melihat karakteristik kurvs V-I dan P-V sel surya yang mendapat sumber sinar lurus dengan modul



Gambar 16 Kurva V-I

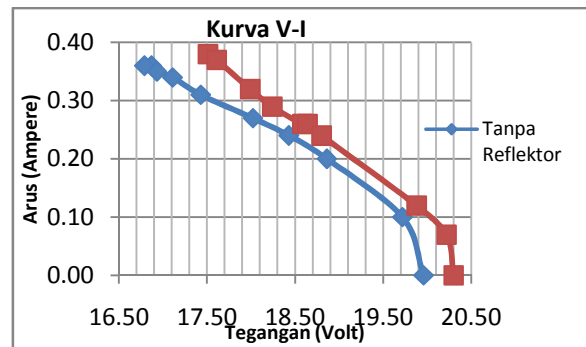


Gambar 17 Kurva P-V

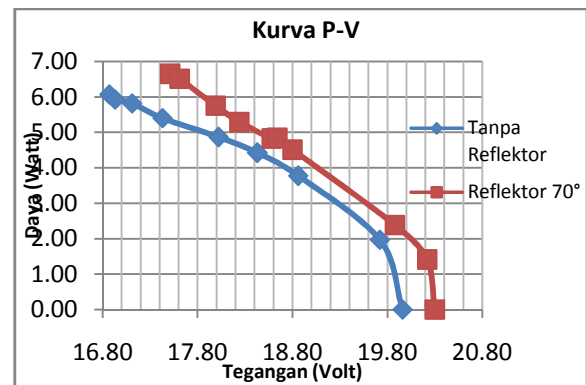
Pada Gambar 16 dan 17 terlihat terjadi peningkatan daya pada penggunaan *reflector* bersudut  $70^\circ$  dibandingkan dengan tanpa *reflector*. Berdasarkan titik paling maksimal yaitu pada tegangan 14.71 Volt dan arus 0.04 Ampere, Peningkatan daya yang terjadi sebesar 43.25%.

### 3.3.2 Pengujian Buck converter dengan Sumber Sinar Matahari

Pengujian ini bertujuan untuk melihat karakteristik kurva V-I dan P-V pada sel surya dengan membandingkan unjuk kerja sel surya tanpa dan dengan *reflector* bersudut  $70^\circ$  sebagai hasil sudut paling optimal pada peningkatan daya sel surya.



Gambar 18 Kurva V-I



Gambar 19 Kurva P-V

Pada Gambar 17 dan 18 terlihat terjadi peningkatan daya pada penggunaan *reflector* bersudut  $70^\circ$  dibandingkan dengan tanpa *reflector*. Berdasarkan titik paling maksimal yaitu pada tegangan 17.51 Volt dan arus 0.38 Ampere, Peningkatan daya yang terjadi sebesar 9.56%.

### 3.4 Rekapitulasi Daya Keluaran Sel surya

Dari keseluruhan hasil pengujian dapat dilihat pengaruh penggunaan *reflector* pada sel surya sebagai berikut :

Dari setiap metode pengambilan data memiliki hasil daya yang berbeda-beda. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan iradiasi yang diterima dan besar resistansi beban total pada rangkaian beban resistif dan *DC chopper buck*. Bila iradiasi yang diterima sel surya besar, maka tegangan dan arus sel surya pun meningkat sehingga daya keluaran pun semakin meningkat. Peningkatan daya tertinggi terjadi pada penggunaan *reflector* dengan sudut  $70^\circ$ . Dibandingkan dengan tanpa *reflector*, peningkatan daya rata-rata sel surya dengan *reflector*  $70^\circ$  meningkat sebesar 75.85%.

Tabel 1 Data Rekapitulasi perhitungan daya

No	Beban	Metode	Posisi	Daya terukur	Peningkatan terhadap	
		pengambilan data	Reflektor r (°)	(watt)	daya tanpa reflektor (%)	
1	Resistif	Halogen-PV tegak lurus	Tanpa	0.109	0	
2			90°	0.131	20.18	
3			80°	0.23	111.01	
4			70°	0.33	202.75	
5			60°	0.212	94.50	
6			50°	0.125	14.68	
7		Halogen-PV 14°	Tanpa	Tanpa	0.041	0.00
8				90°	0.007	-82.93
9				80°	0.075	82.93
10				70°	0.083	102.44
11				60°	0.074	80.49
12				50°	0.058	41.46
13		Sumber sinar matahari	Tanpa	Tanpa	6.17	0.00
14				90°	0.29	-95.30
15				80°	6.11	-0.97
16				70°	7.22	17.02
17				60°	6.69	8.43
18				50°	6.53	5.83
19	DC Chopper buck	Halogen-PV tegak lurus	tanpa	0.716	0.00	
20			70°	1.287	79.75	
21		Halogen-PV 14°	tanpa	0.418	0.00	
22			70°	0.6	43.54	
23		Sumber sinar matahari	tanpa	6.07	0.00	
24			70°	6.653	9.60	

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan analisis yang sudah dilakukan maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Penempatan *reflector* yang optimal yaitu pada kedua sisi sel surya yang tidak terhalang oleh sumber cahaya masukan (sisi utara dan selatan) dengan sudut kemiringan sebesar 70° terhadap sel surya.
2. Pada pengujian dengan sumber halogen diposisikan tegak lurus terhadap modul sel surya, peningkatan daya mencapai 202.75% pada tingkat iradiasi 185.21 Watt/m<sup>2</sup> dengan menggunakan *reflector* bersudut 70°.
3. Pada pengujian dengan sumber halogen diposisikan miring 14° terhadap modul sel surya, peningkatan daya mencapai 102.44% pada tingkat iradiasi 92.71 Watt/m<sup>2</sup> dengan menggunakan *reflector* bersudut 70°.
4. Pada pengujian dengan sumber matahari langsung, peningkatan daya mencapai 17.02% pada tingkat iradiasi 1188 Watt/m<sup>2</sup> dengan menggunakan *reflector* bersudut 70°.
5. Pada pengujian dengan beban *buck converter* didapati peningkatan daya sebesar 79% pada pengujian sumber cahaya halogen tegak lurus terhadap sel surya, 43% pada sumber halogen miring 14° terhadap sel surya, dan 9.6% pada sumber sinar matahari dengan menggunakan *reflector* bersudut 70°.

#### Referensi

- [1]. Anderson, Eric, Chris Dohan, and Aaron Sikora, "Solar Panel Peak Power Tracking System," A Major Qualifying Project, Worcester Polytechnic Institute, 2003.
- [2]. Bachtiar, Muhammad, "Prosedur Perancangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya untuk Perumahan (Solar Home System)", SMARTek, Vol.4 No.3, Agustus 2006 : 176-182.
- [3]. CANMET Energi Technology Centre – Varennes (CETC), *Photovoltaic Project Analysis Chapter*, RETScreen International, 2001 – 2004.
- [4]. Duffie, John A. and William A. Beckman, *Solar Engineering of Thermal Processes*, 3<sup>rd</sup>, Jon Wiley & Sons, Inc, New Jersey, 2006.
- [5]. Kumar, Ashok, N.S. Thakur, Rahul Makade, and Manesh Kumar Shivhare, "Optimization of Tilt Angle for Photovoltaic Array", *International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST)*, 0975-5642, Vol. 3 No.4 April 2011
- [6]. Mintorogo, Danny Santoso, "Strategi Aplikasi Sel Surya (Photovoltaic Cells) pada Perumahan dan Bangunan Komersial", Universitas Kristen Petra, Surabaya.
- [7]. Moertini, Veronica S., "Energi Baru dan Terbarukan (EBT): Kajian Potensi dan Teknologi Konversiny," SIGMA, Vol.5 No.1, Januari 2002 : 21-36.
- [8]. Rahardjo, Amien, Herlina, dan Husni Safruddin, "Optimalisasi Pemanfaatan Sel Surya pada Bangunan Komersial Secara Terintegrasi sebagai Bangunan Hemat Energi," *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi II*, Universitas Lampung, 2008.
- [9]. Rahyudi, Septian, Imam Abadi, S.T., M.T., *Perancangan Sistem Penjejak Matahari Dua Sumbu Dengan Reflektor pada Tiga Posisi*, Jurnal Teknik POMITS Vol.1, No.1, (2012) 1-6.
- [10]. Suhono, *Inventarisasi Permasalahan pada Instalasi Solar House System di Wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta*, Laporan Kerja Praktek Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2009.
- [11]. Sidopekso, Satwiko dan Anita E. F., *Studi Peningkatan Output Modul Surya dengan Menggunakan Reflector*, Jurnal Berkala Fisika Universitas Negeri Jakarta, 2010
- [12]. Amalia dan Satwiko S., *Optimalisasi Output Modul Surya Polikristal Silikon dengan Cermin Datar sebagai Reflektor pada Sudut 60°*, Jurnal Prosiding Pertemuan Ilmiah XXV HFI Jateng & DIY, Uninersitas Negeri Jakarta, 2010.
- [13]. Diah, Pangestuningtyas, *Analisis Pengaruh Sudut Kemiringan Panel Surya Terhadap Radiasi Matahari yang Dapat Diterima oleh Panel Surya Tetap*, Laporan Tugas Akhir, Universitas Diponegoro, 2013.
- [14]. Mahadi, Modul Praktikum Penyinaran Sebagian Dan Penuh pada *Photovoltaic Jenis Monocrystalline*, Laporan Tugas Akhir, 2014.
- [15]. Wei Li, Ruilong Yang, Deliang Wang, CdTe Sel surya Performance Under Hiht-Intensity Light Irradiance, *International journal*, University of Science and Technology of China, 2014.