

ANALISIS PENGGUNAAN CERMIN CEKUNG, CERMIN DATAR, DAN KOMBINASI CERMIN CEKUNG-DATAR UNTUK MENINGKATKAN DAYA KELUARAN PADA SEL SURYA

Arif Setiawan^{*)}, Yuningtyastuti, and Susatyo Handoko

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

^{*)} Email: arfswan@gmail.com

Abstrak

Sel surya dalam unit pembangkit tenaga listrik memiliki kendala daya keluaran yang tidak cukup besar dan sangat bergantung pada kondisi sekitar. Salah satu metode untuk menambah nilai daya keluaran sel surya adalah menggunakan reflektor. Reflektor digunakan untuk memantulkan sinar matahari yang menyebar agar fokus ke sel surya dan akhirnya dapat menambah nilai daya keluaran sel surya. Reflektor yang umum digunakan adalah sepasang cermin datar. Hal ini dikarenakan pemantulan cermin datar yang memiliki sudut pantul teratur. Namun sudut pantul teratur dapat mengakibatkan sinar pantul tidak terpusat pada sel surya, sehingga daya keluaran pemaksimalan sel surya dengan cermin datar dirasa masih kurang. Tugas akhir ini dilakukan penelitian untuk memaksimalkan daya keluaran sel surya dengan reflektor dan membahas pengaruh cermin datar dan cermin cekung sebagai reflektor dalam memaksimalkan daya keluaran sel surya. Berdasarkan hasil pengujian didapatkan bahwa dengan sumber halogen, daya keluaran cermin cekung 1,428% lebih besar dari cermin datar dan 0,098% lebih besar dari kombinasi cermin cekung-datar. Begitu pula dengan sumber matahari, daya keluaran cermin cekung 3,463% lebih besar dari cermin datar dan 2,155% lebih besar dari kombinasi cermin cekung-datar.

Kata Kunci: sel surya, reflektor, daya keluaran, sudut penempatan, iradiasi

Abstract

The solar cells in power generation units have output power problems are not big enough and very dependent on ambient conditions. A method is to add value to the power output of solar cells is to use a reflector. Reflectors are used to reflect sunlight that spread in order to focus on solar cells and ultimately can add value to the power output of solar cells. Reflector that is commonly used is a pair of flat mirrors. This is because the reflectance of flat mirror which has a regular reflection angle. But the regular reflection angle can result reflected ray is not centered on the solar cell, thereby maximizing the power output of the solar cell with a flat mirror is still lacking. This final project is research to maximize the power output of solar cells with a reflector and discusses the influence of flat mirrors and concave mirrors as reflectors in maximizing the power output of solar cells. Based on test results showed that the halogen source, the power output of concave mirror 1,428% greater than flat mirror and 0,098% greater than combination of the concave-flat mirror. Similarly, the solar source, output power of the concave mirror is 3.463% greater than flat mirror and 2.155% is greater than the combination of the concave-flat mirror.

Keywords: solar cells, reflectors, power output, placement angle, irradiation

1. Pendahuluan

Energi listrik menjadi kebutuhan yang sangat penting. Setiap peralatan pada rumah tangga, kantor, dan alat pendukung pendidikan membutuhkan energi listrik untuk menyalakannya. Energi listrik ini dibangkitkan dengan menggunakan energi fosil yang tidak bisa diperbarui. Oleh sebab itu, dibuatlah pembangkit listrik dengan energi alternatif seperti energi matahari.

Dari letak astronomi, Indonesia terletak pada 6° LU– 11° LS dan 95° BT – 145° BT. Dari letak tersebut dapat dilihat bahwa Indonesia dilalui garis katulistiwa dan mempunyai iklim tropis sehingga mempunyai radiasi rata-rata harian matahari sebesar $4,5 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$. Hal ini membuat Indonesia berpotensi menghasilkan listrik tenaga matahari dengan daya keluaran yang cukup besar. Dalam pembangkitan energi listrik, sel surya sangat tergantung pada keadaan sekitar. Untuk mendapatkan daya keluaran dari sel surya yang lebih besar, telah

banyak metode penelitian yang dilakukan. Salah satu metode yang dilakukan adalah menggunakan reflektor untuk memantulkan sinar matahari agar lebih fokus ke sel surya agar dapat dimanfaatkan.

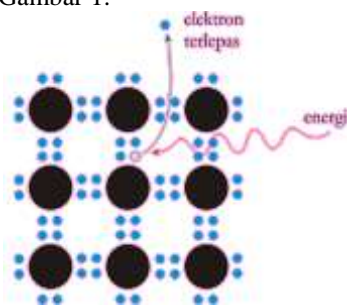
Reflektor yang biasa digunakan adalah reflektor cermin datar karena memiliki pantulan yang teratur. Namun sudut pantul teratur dapat mengakibatkan sinar pantul tidak terpusat pada sel surya, sehingga daya keluaran pemaksimalan sel surya dengan cermin datar dirasa masih kurang. Selain cermin datar juga terdapat cermin cekung yang memiliki pantulan yang terfokus. Oleh karena itu cermin cekung lebih baik untuk memantulkan sinar untuk fokus pada sel surya dan menyebabkan daya keluaran sel surya lebih maksimal.

Penelitian ini membahas tentang pengaruh cermin datar dan cermin cekung sebagai reflektor sel surya untuk memaksimalkan daya keluaran sel surya.

Sel Surya

Sel surya adalah teknologi pengkonversi energi matahari menjadi energi listrik. 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. Ketidakhadiran 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 1.



Gambar 1. Proses pelepasan elektron pada sel surya

Ketika elektron lain mengisi *hole*, elektron tersebut juga mengakibatkan *hole* pada atom yang ditinggalkan dan akan diisi kembali dengan elektron yang lain kembali. 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

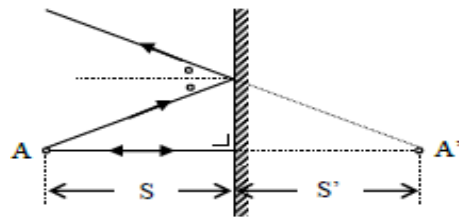
pembentukan *hole* pada pita valensi. Pergerakan elektron dari kedua pita energi akan mengakibatkan timbulnya arus pada terminal sel surya yang terhubung dengan beban.

Pembentukan Bayangan Cermin Datar

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

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

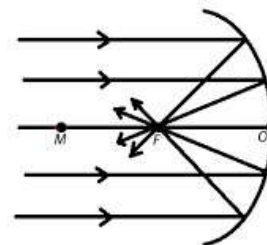
Sebuah benda titik A yang berada di depan cermin datar memancarkan atau dilalui oleh sinar datang yang menuju ke cermin datar. Akibat adanya pemantulan cahaya oleh cermin datar maka terbentuk bayangan A' di belakang cermin datar. Lintasan sinar pada pembentukan bayangan itu dapat digambarkan seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Pembentukan bayangan cermin datar

Pembentukan Bayangan Cermin Cekung

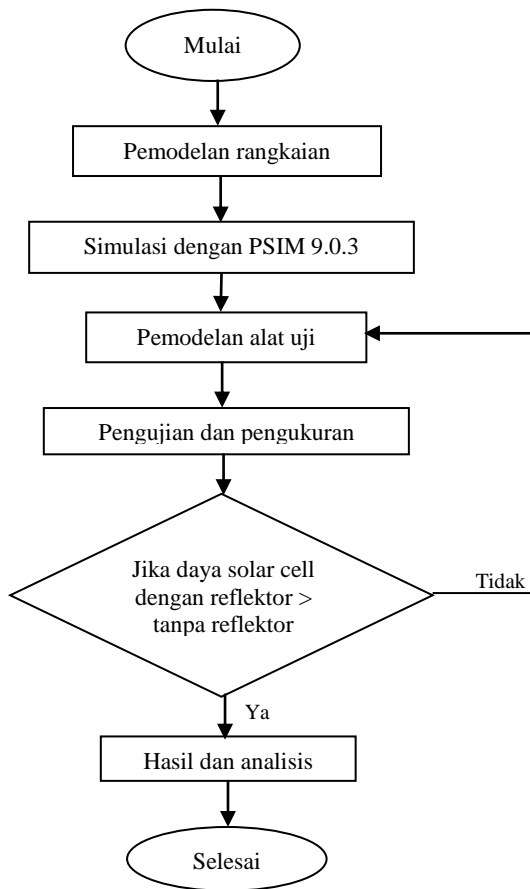
Cermin cekung merupakan suatu cermin yang memiliki penampang yang cekung seperti mangkuk. Cermin cekung disebut juga dengan cermin konvergen karena bersifat mengumpulkan sinar pantul. Titik berkumpulnya sinar pantul disebut titik fokus atau titik api.^[21] Pantulan cermin cekung pada titik fokus dapat digambarkan seperti Gambar 3.



Gambar 3. Pantulan cermin cekung

2. Metode

Berikut diagram alir penelitian :



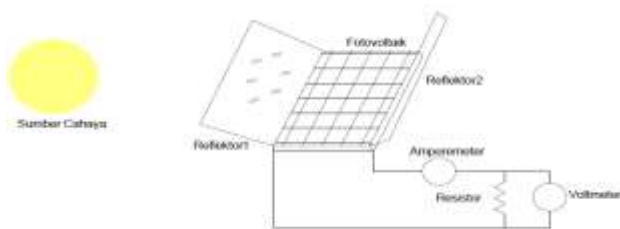
Gambar 4. Diagram alir penelitian

2.1. Pemodelan Rangkaian

Pemodelan rangkaian terbagi menjadi 2, yaitu pemodelan rangkaian beban resistif dan pemodelan beban DC chopper boost.

2.1.1. Pemodelan Rangkaian Beban Resistif

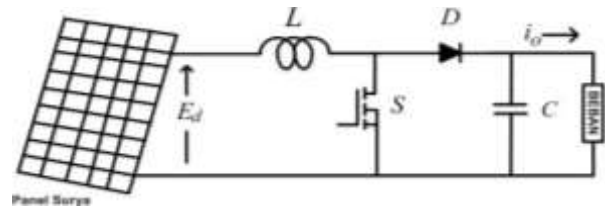
Rangkaian ini terdiri dari sel surya yang dihubungkan dengan beban berupa resistor 39 Ω 15 Watt. Rangkaian juga dihubungkan dengan voltmeter yang diparalelkan dengan dan amperemeter yang dipasang seri dengan beban. Rangkaian digambarkan dengan Gambar 5.



Gambar 5. Rangkaian beban resistif

2.1.2. Pemodelan Rangkaian Beban DC Chopper Boost

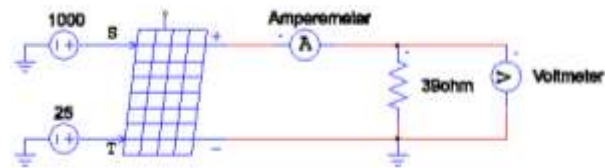
Rangkaian dari beban DC chopper boost terdiri dari sel surya yang dihubungkan dengan beban DC chopper. Beban ini digunakan sebagai sebagai penaik tegangan keluaran sel surya dan untuk mengetahui grafik hubungan tegangan dengan arus dan tegangan dengan daya.



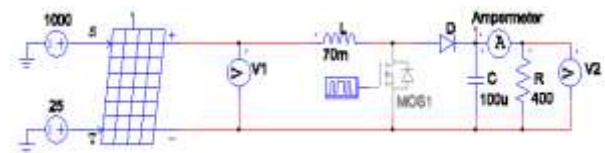
Gambar 6. Rangkaian beban DC chopper boost

2.2. Simulasi dengan PSIM 9.0.3

Simulasi dilakukan untuk mengetahui hasil keluaran sebelum melakukan pemodelan alat uji.

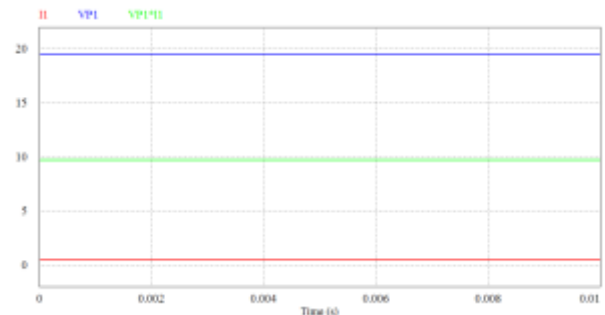


Gambar 7. Simulasi beban resistif

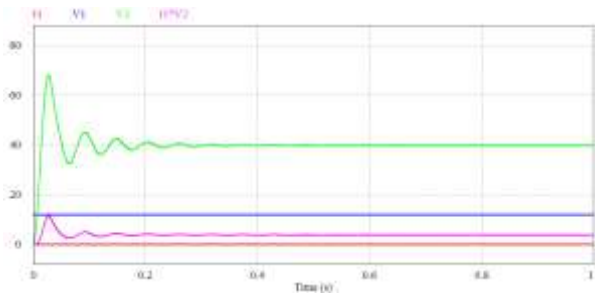


Gambar 8. Simulasi beban DC chopper boost

Dari rangkaian simulasi di atas, didapatkan hasil berikut:



Gambar 9. Hasil simulasi beban resistif



Gambar 10. Hasil simulasi beban DC *chopper boost*

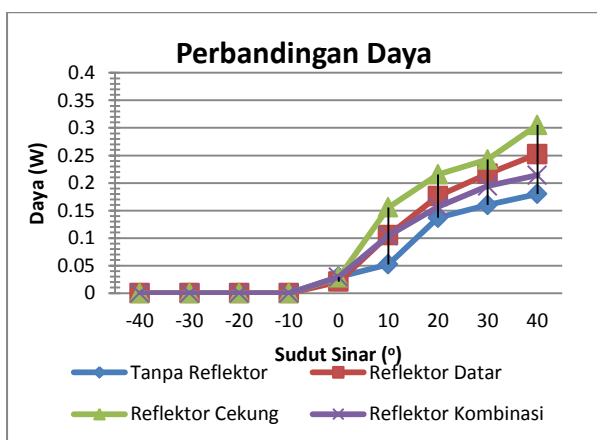
Sel surya yang digunakan memiliki daya keluaran maksimal 10 Watt. Dengan menggunakan beban resistor 39 Ω didapat nilai tegangan 19,467 Volt dan arus 0,499 Ampere. Untuk beban DC *chopper boost* tegangan yang dihasilkan 40,441 Volt dan arus 0,101 Ampere.

3. Hasil dan Analisis

Pengujian dilakukan dengan menerapkan beberapa variasi meliputi : sumber cahaya berupa sumber lampu halogen 1000 watt dan sumber cahaya matahari, variasi reflektor yang digunakan adalah sepasang cermin datar, sepasang cermin cekung, dan kombinasi cermin cekung-datar, dan variasi terakhir adalah variasi beban berupa beban resistif dan beban DC *chopper boost*.

3.1. Pengujian dengan Sumber Halogen

Pengujian ini dilakukan untuk pengujian skala laboratorium. Menggunakan sumber halogen yang diarahkan langsung menuju sel surya yang berjarak 120 cm. Dari pengujian didapatkan sudut penempatan reflektor 70° adalah sudut yang terbaik karena memiliki keluaran yang maksimum. Berikut grafik perbandingan daya keluaran sel surya tanpa reflektor, dengan reflektor cermin datar, reflektor cermin cekung, dan reflektor kombinasi cermin cekung-datar.

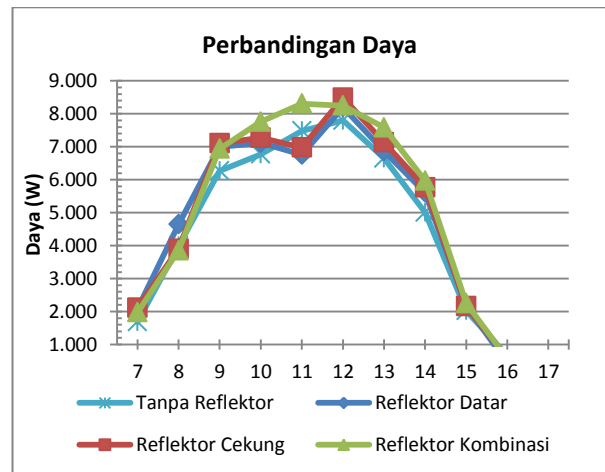


Gambar 11. Grafik perbandingan daya maksimum sumber halogen

Gambar 11 menunjukkan daya keluaran sel surya tanpa reflektor, dengan reflektor datar, reflektor cekung dan reflektor kombinasi sudut 70°. Dapat dilihat bahwa besar daya maksimal tanpa reflektor 0,18 Watt, daya dengan reflektor datar 0,301 Watt, daya dengan reflektor cekung 0,305 Watt, dan daya dengan reflektor kombinasi cekung-datar 0,305 Watt. Terjadi peningkatan tegangan dari sel surya saat menggunakan reflektor datar sebesar 67,277%, saat menggunakan reflektor cekung 69,667%, dan saat menggunakan reflektor kombinasi cekung-datar sebesar 69,5% dibandingkan tanpa menggunakan reflektor. Peningkatan terbesar adalah pada reflektor cekung.

3.2. Pengujian dengan Sumber Matahari

Pengujian dilakukan diluar ruangan dengan sumber matahari. Pengambilan data dilakukan 1 jam 1 kali dari pukul 07.00 hingga 17.00. Berikut hasil pengujian dengan sumber matahari dengan sudut penempatan reflektor 70°.



Gambar 12. Perbandingan daya maksimum sumber matahari

Gambar 12 menunjukkan daya keluaran sel surya tanpa reflektor, dengan reflektor datar, reflektor cekung dan reflektor kombinasi cekung-datar. Dapat dilihat bahwa besar daya tanpa reflektor 7,799 Watt, besar daya dengan reflektor datar 8,202 Watt, besar daya dengan reflektor cekung 8,486 Watt, dan besar daya dengan reflektor kombinasi cekung-datar 8,307 Watt. Terjadi peningkatan tegangan dari sel surya saat menggunakan reflektor datar sebesar 5,167%, saat menggunakan reflektor cekung 8,808%, dan saat menggunakan reflektor kombinasi cekung-datar sebesar 6,514% dibandingkan tanpa menggunakan reflektor. Dari peningkatan daya dengan reflektor, terlihat peningkatan terbesar pada reflektor cekung.

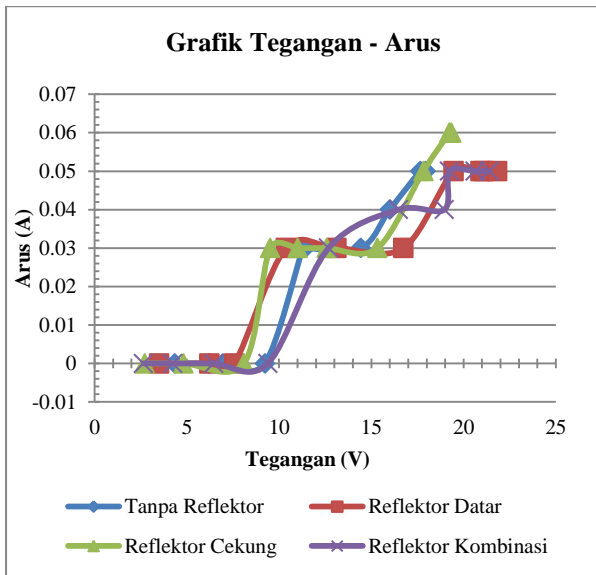
3.3. Pengujian dengan Beban DC Chopper Boost

Pengujian dengan DC *chopper boost* dilakukan untuk memperbesar nilai tegangan keluaran sel surya dan untuk

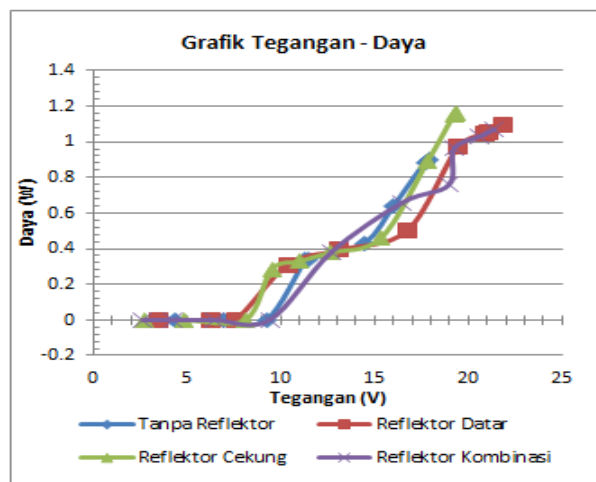
mengetahui grafik hubungan tegangan dengan arus dan tegangan dengan daya.

3.3.1. Pengujian DC Chopper Boost dengan Sumber Halogen

Pengujian dengan DC *chopper boost* sebagai beban yang dihubungkan dengan sel surya. Sumber halogen yang ditempatkan 120 cm dari sel surya. Sudut penempatan reflektor terhadap sel surya sebesar 70°.



Gambar 13. Grafik hubungan tegangan – arus sumber halogen



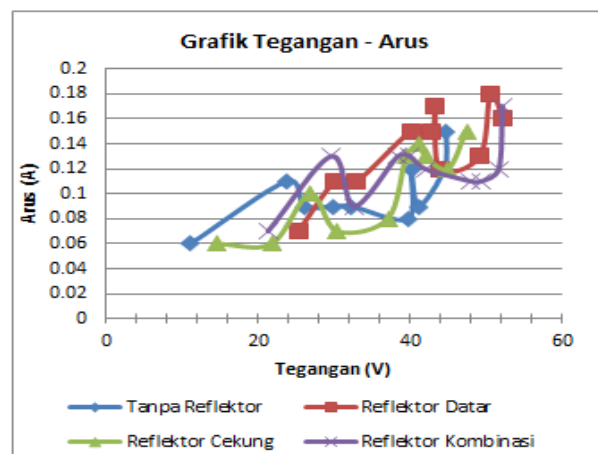
Gambar 14. Grafik hubungan tegangan – daya sumber halogen

Gambar 13 menunjukkan grafik hubungan tegangan dengan arus dan Gambar 14 menunjukkan tegangan dengan daya. Pada titik maksimum, daya sel surya tanpa reflektor 0,897 Watt, daya sel surya dengan reflektor datar 1,091 Watt, daya sel surya dengan reflektor cermin

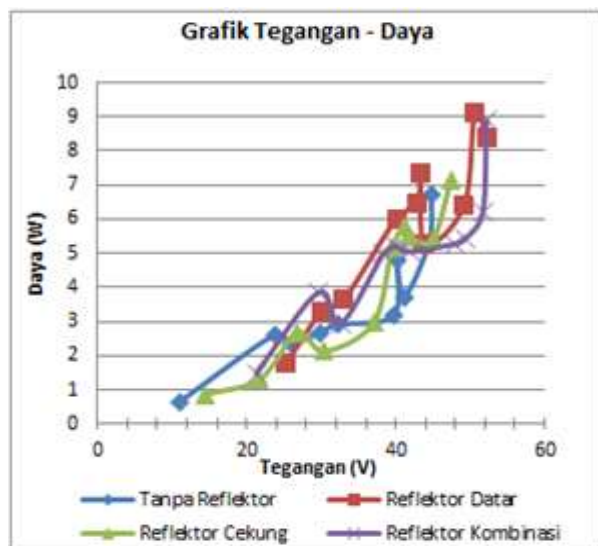
cekung 1,160 Watt, dan daya sel surya dengan reflektor kombinasi cermin cekung-datar 1,070 Watt. Terjadi peningkatan daya dari sel surya saat menggunakan reflektor datar sebesar 21,628%, saat menggunakan reflektor cekung 29,320%, dan saat menggunakan reflektor kombinasi cekung-datar sebesar 19,286% dibandingkan tanpa menggunakan reflektor.

3.3.2. Pengujian DC Chopper Boost dengan Sumber Halogen

Pengujian dengan DC *chopper boost* sebagai beban yang dihubungkan dengan sel surya dengan matahari sebagai sumbernya. Sudut penempatan reflektor terhadap sel surya sebesar 70°.



Gambar 15. Grafik hubungan tegangan – arus sumber matahari



Gambar 16. Grafik hubungan tegangan – daya sumber matahari

Gambar 16 menunjukkan grafik hubungan tegangan dengan arus dan Gambar 16 menunjukkan tegangan

dengan daya. Pada titik maksimum daya sel surya tanpa reflektor 6,72 Watt, daya sel surya dengan reflektor datar 8,368 Watt, daya sel surya dengan reflektor cermin cekung 7,110 Watt, dan daya sel surya dengan reflektor kombinasi cermin cekung-datar 8,874 Watt. Terjadi peningkatan daya dari sel surya saat menggunakan reflektor cekung sebesar 24,524%, saat menggunakan reflektor cekung 5,803%, dan saat menggunakan reflektor kombinasi cekung-datar sebesar 32,053% dibandingkan tanpa menggunakan reflektor.

3.4. Rekapitulasi Daya Keluaran Sel Surya

Dari keseluruhan hasil pengujian dapat dilihat pengaruh penggunaan *reflector* pada *solar cell* sebagai berikut :

Tabel 1. Rekapitulasi data daya keluaran sel surya

No.	Beban	Sumber Cahaya	Reflektor	Sudut Reflektor (°)	Daya (W)	Peningkatan Daya (%)
1	Resistif	Halogen	Tanpa reflektor	-	0,180	0,000
2			Reflektor datar	90	0,195	8,481
3				80	0,301	66,963
4				70	0,301	67,129
5				60	0,189	4,707
6				50	0,211	17,146
7			Reflektor cekung	90	0,187	3,641
8				80	0,252	40,075
9				70	0,305	69,516
10				60	0,214	18,794
11				50	0,213	18,345
12			Reflektor kombinasi	90	0,248	37,655
13				80	0,300	66,352
14				70	0,305	69,349
15				60	0,199	10,391
16			50	0,174	-3,641	

Tabel 1. (lanjutan)

No	Beban	Sumber Cahaya	Reflektor	Sudut Reflektor (°)	Daya (W)	Peningkatan Daya (%)			
17	Resistif	Matahari	Tanpa reflektor	-	7,799	0,000			
18			Reflektor datar	90	6,772	-13,162			
19				80	7,585	-2,736			
20				70	8,202	5,175			
21				60	7,677	-1,555			
22				50	7,488	-3,982			
23			Reflektor cekung	90	6,735	-13,633			
24				80	7,164	-8,140			
25				70	8,486	8,813			
26				60	7,527	-3,481			
27				50	7,416	-4,901			
28			Reflektor kombinasi	90	7,612	-2,395			
29				80	8,099	3,853			
30				70	8,307	6,524			
31				60	7,899	1,284			
32				50	7,491	-3,941			
33			DC chopper boost	Halogen	Tanpa reflektor	-	0,897	0,000	
34					Reflektor datar	70	1,091	21,628	
35						Reflektor cekung	70	1,160	29,298
36						Reflektor kombinasi	70	0,962	7,191
37	Matahari	Tanpa reflektor			-	6,720	0,000		
38		Reflektor datar			70	9,108	35,536		
39		Reflektor cekung			70	7,110	5,804		
40		Reflektor kombinasi			70	8,874	32,054		

Dari tabel 1 yang merupakan rekapitulasi daya maksimal sel surya dapat menunjukkan peningkatan daya berbeda-beda. Hal ini karena adanya perbedaan iradiasi yang diterima sel surya saat tanpa reflektor, dengan reflektor datar, reflektor cekung, maupun reflektor kombinasi. Reflektor memantulkan sinar dan memfokuskan pada sel surya yang menyebabkan iradiasi yang diterima sel surya bertambah.

Peningkatan daya tertinggi terjadi pada penggunaan reflektor cermin cekung dengan sudut 70°. Peningkatan yang terjadi mencapai 69,516% untuk sumber halogen dan 8,813% untuk sumber matahari.

4. Kesimpulan

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

1. Penempatan reflektor untuk mendapatkan keluaran yang maksimal yaitu pada kedua sisi sel surya yang tidak terhalang oleh sumber cahaya masukan (sisi utara dan selatan) dengan sudut kemiringan (sudut γ) sebesar 70° terhadap sel surya.
2. Pada pengujian dengan sumber halogen, peningkatan daya mencapai 67,277% untuk penggunaan reflektor datar, 69,667% untuk penggunaan reflektor cekung, dan 69,5% dengan penggunaan reflektor kombinasi cekung-datar dengan menggunakan reflektor bersudut (sudut θ) 70°.
3. Pada pengujian dengan sumber matahari, peningkatan daya mencapai 5,167% untuk penggunaan reflektor datar, 8,808% untuk penggunaan reflektor cekung, dan 6,514% dengan penggunaan reflektor kombinasi cekung-datar dengan menggunakan reflektor bersudut (sudut θ) 70°.
4. Pada pengujian dapat dilihat bawah peningkatan daya oleh reflektor cermin cekung lebih besar dibandingkan dengan reflektor cermin datar maupun reflektor kombinasi cermin cekung-datar. Hal ini dikarenakan cermin cekung bersifat memfokuskan sinar pantul.
5. Pada pengujian beban *boost converter* dengan sumber halogen didapati peningkatan daya sebesar 21,628% pada sel surya dengan reflektor datar, 29,298% dengan reflektor cekung, dan 7,191% dengan reflektor kombinasi cekung-datar.
6. Pada pengujian beban *boost converter* dengan sumber halogen didapati peningkatan daya sebesar 35,536% pada sel surya dengan reflektor datar, 5,804% dengan reflektor cekung, dan 32,054% dengan reflektor kombinasi cekung-datar.

Referensi

[1]. 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, Universitas Negeri Jakarta, 2010.

- [2]. Anderson, Eric, Chris Dohan, and Aaron Sikora, "Solar Panel Peak Power Tracking System," A Major Qualifying Project, Worcester Polytechnic Institute, 2003.
- [3]. Bachtiar, Muhammad, "Prosedur Perancangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya untuk Perumahan (Solar Home System)", SMARTek, Vol.4 No.3, Agustus 2006 : 176-182.
- [4]. CANMET Energy Technology Centre – Varennes (CETC), *photovoltaic Project Analysis Chapter*, RETScreen International, 2001 – 2004.
- [5]. Contained Energy Indonesia tim, *Buku Panduan Energi yang Terbarukan*, PNPM Mandiri Kemendagri Indonesia.
- [6]. Diah, Pangestuningtyas, *Analisis Penempatan Sel Surya Pada Atap Setengah Lingkaran Sebagai Aplikasi Sistem Tenaga Off Grid*, Laporan Tugas Akhir, Universitas Diponegoro, 2013.
- [7]. Duffie, John A. and William A. Beckman, *Solar Engineering of Thermal Processes*, 3th, Jon Wiley & Sons, Inc, New Jersey, 2006.
- [8]. Foster, Bob, *Terpadu Fisika SMA Kelas X*, Jakarta : Erlangga, 2004
- [9]. Francisco, Tumbur, *Analisis Pengaruh Penggunaan Dc Chopper Terhadap Harmonik Dan Faktor Daya Yang Dipengaruhi Dengan Adanya Komponen Penyearah*, Laporan Tugas Akhir, Universitas Diponegoro
- [10]. Halliday, Resnick. *Dasar-Dasar Fisika Versi Diperluas*. Tangerang : Binarupa Aksara Publisher.
- [11]. 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
- [12]. Markvart, Tomas. *Solar Electricity Second Edition*. University of Southampton, United Kingdom, 2000.
- [13]. Mintorogo, Danny Santoso, "Strategi Aplikasi Sel Surya (Fotovoltaik Cells) pada Perumahan dan Bangunan Komersial", Universitas Kristen Petra, Surabaya.
- [14]. Mufid, Achmad, *Disain Prototype DC-DC Konverter Untuk Topologi Baru Pemanfaatan Fotovoltaik Pada LED Sebagai Sumber Penerangan Dalam Rumah Standar*, Laporan Tugas Akhir, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya-Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2011.
- [15]. Moertini, Veronica S., "Energi Baru dan Terbarukan (EBT): Kajian Potensi dan Teknologi Konversiny," *SIGMA*, Vol.5 No.1 , Januari 2002 : 21-36.
- [16]. Nugroho, R. A., *Memaksimalkan Daya Keluaran Sel Surya Dengan Menggunakan Cermin Pemantul Sinar Matahari (Reflector)*, Laporan Tugas Akhir, Universitas Diponegoro, 2014.
- [17]. Sidopekso, Satwiko dan Anita E. F., *Studi Peningkatan Output Modul Surya dengan Menggunakan Reflector*, *Jurnal Berkala Fisika Universitas Negeri Jakarta*, 2010.
- [18]. Suhono, *Inventarisasi Permasalahan pada Instalasi Solar House System di Wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta*, Laporan Kerja Praktek Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2009.
- [19]. Tipler. *Fisika Untuk Sains dan Teknik Edisi Ketiga Jilid 2*. Jakarta : Erlangga , 2001
- [20]. Wardhana, A. K., *Aplikasi Buckboost Converter Sebagai Penyedia Daya Arus Searah Pada Rangkaian Tegangan Tinggi Impuls*, *Jurnal Transient* Vol. 3 No. 4, Universitas Diponegoro, 2014.
- [21]. Widiyanti, A. A., *Analisis Penempatan Sel Surya Pada Atap Setengah Lingkaran Sebagai Aplikasi Sistem Tenaga Off Grid*, Laporan Tugas Akhir, Universitas Diponegoro, 2013.
- [21]. Zemansky, Sears, *Fisika Untuk Universitas 3*. Jakarta : Binacipta, 2001