



PENINGKATAN EFISIENSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA DENGAN REFLEKTOR PARABOLA

Sanni Ilyas & Ishak Kasim

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Industri, Universitas Trisakti

Jalan Kiai Tapa No. 1, Grogol, Jakarta Barat

E-mail : sanni.ilyas@gmail.com, ishak@trisakti.ac.id

ABSTRACT

This paper present the result of reserch on improving the solar power plant efficiency using two parabolic reflectors. The designed parabolic reflectors are asymmetrical concentrators placed on a horizontal surface so that radiation from each angle can be collected. Two monocrystalline solar modules, each with 0.639 m length and 0.294 m width are used, which can produce 20.124 W maximum power, 1.3 A short circuit current, and 21.2 V open circuit voltage on 1000 W/m² solar irradiation and 25 °C temperature. The solar module itself has 10.71% efficiency which is used as the reference efficiency. A solar module with parabolic reflectors can produce 11.13% average efficiency or 1.039 times higher than the reference efficiency. The whole system with two solar modules and parabolic reflectors can produce 13.111 W maximum power and 11.92% highest efficiency or 1.113 times higher than the reference efficiency.

Keywords: *parabolic reflectors, photovoltaics, efficiency*

ABSTRAK

Makalah ini merupakan hasil penelitian tentang peningkatan efisiensi pembangkit listrik tenaga surya dengan reflektor parabola. Reflektor parabola yang dirancang berupa konsentrator asimetris yang ditempatkan pada permukaan horizontal agar radiasi dari setiap sudut dapat dikumpulkan. Dua modul surya yang digunakan dari jenis monokristal masing-masing berukuran panjang 0,639 m dan lebar 0,294 m dapat menghasilkan daya maksimum 20,124 W, arus hubung singkat 1,3 A, dan tegangan terbuka 21,2 V pada iradiasi matahari 1000 W/m² dan temperatur 25 °C. Modul surya sendiri memiliki efisiensi referensi sebesar 10,71 %. Satu modul surya dengan reflektor parabola dapat menghasilkan efisiensi rata-rata 11,13 % atau 1,039 kali lebih tinggi dibandingkan efisiensi referensi. Keseluruhan sistem pembangkit dengan dua modul surya dan reflektor parabola dapat menghasilkan daya maksimum 13,111 W dan efisiensi tertinggi sebesar 11,92 % atau 1,113 kali lebih tinggi dibandingkan efisiensi referensi.

Kata kunci : *reflektor parabola, modul surya, efisiensi*

1. PENDAHULUAN

Indonesia terletak di garis khatulistiwa, sehingga mempunyai sumber energi surya yang berlimpah dengan intensitas radiasi matahari rata-rata sekitar $4,8 \text{ kWh/m}^2$ per hari di seluruh wilayahnya. Energi matahari diubah menjadi energi listrik dengan menggunakan sel surya. Efisiensi energi dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara daya listrik yang dihasilkan terhadap daya *input* yang diterima. Efisiensi yang rendah berpengaruh pada daya listrik *output* modul surya. Daya *output* modul surya perlu ditingkatkan agar efisiensinya meningkat juga.

Reflektor yang digunakan berbentuk parabola agar diperoleh efisiensi maksimum. Reflektor tersebut seperti cermin konkaf atau cekung yang sifatnya bergantung pada banyaknya titik lengkungan. Reflektor parabola yang digunakan merupakan sistem konsentrator asimetris yang ditempatkan pada permukaan horizontal, agar radiasi dari setiap sudut dapat dikumpulkan [1], [2]. Dua modul surya menerima cahaya dari masing-masing bidang konsentrator atau reflektor parabola seperti yang diperlihatkan pada Gambar 7. Kemiringan bidang reflektor parabola dapat diatur agar energi surya yang diterima oleh permukaan modul surya maksimal sehingga daya listrik *output* yang dihasilkan meningkat.

2. KAJIAN PUSTAKA

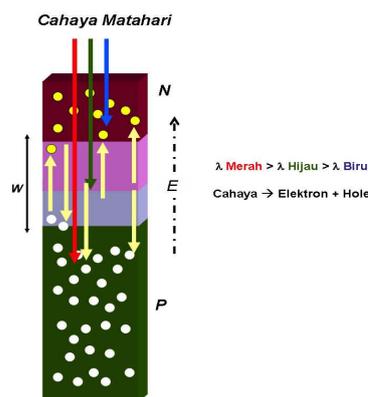
2.1 Modul Surya

Konversi energi matahari menjadi listrik berlangsung pada perangkat semikonduktor yang disebut sel surya. Sel surya adalah unit yang memberikan sejumlah tenaga listrik dalam bentuk tegangan dan arus [3].

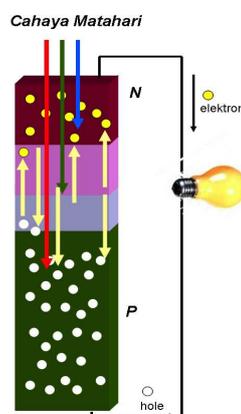
Ketika sambungan semikonduktor terkena cahaya matahari, elektron mendapat energi dari cahaya matahari untuk melepaskan dirinya dari semikonduktor *n*, daerah deplesi, maupun semikonduktor *p*, yang diperlihatkan pada Gambar 1. Terlepasnya elektron ini meninggalkan *hole* pada daerah yang ditinggalkan oleh elektron. Peristiwa ini disebut fotogenerasi elektron-*hole* (*electron-hole photogeneration*) yakni terbentuknya pasangan elektron dan *hole* akibat cahaya matahari.

Cahaya matahari dengan panjang gelombang (λ) yang berbeda menyebabkan fotogenerasi terjadi pada bagian sambungan pn yang berbeda pula. Spektrum merah cahaya matahari yang memiliki panjang gelombang lebih panjang mampu menembus daerah deplesi hingga terserap di semikonduktor p yang menghasilkan proses fotogenerasi pada bagian tersebut. Spektrum biru dengan panjang gelombang yang jauh lebih pendek hanya terserap di daerah semikonduktor n .

Apabila kabel dihubungkan pada kedua ujung semikonduktor, maka elektron akan mengalir melalui kabel. Pada Gambar 2 diperlihatkan jika kabel dihubungkan dengan sebuah lampu kecil maka lampu tersebut menyala karena terdapat aliran arus listrik yang timbul akibat pergerakan elektron.



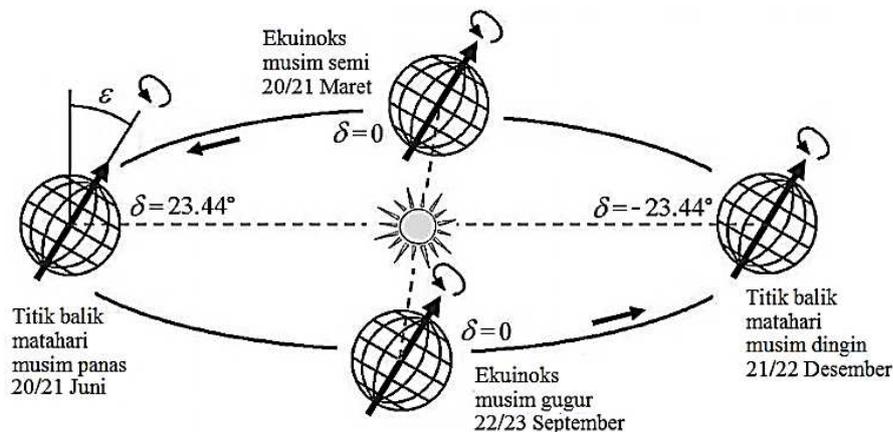
Gambar 1 Sambungan Semikonduktor Ditembus Cahaya Matahari



Gambar 2 Sambungan Semikonduktor Dihubungkan dengan Lampu

2.2 Penjejak Matahari

Rotasi dan orbit bumi mengelilingi matahari menyebabkan posisi matahari di langit berubah-ubah dari waktu ke waktu. Koordinat yang sering digunakan dalam astronomi menggunakan ekuinoks musim semi sebagai titik acuan. Bidang orbit bumi mengelilingi matahari, ekliptika, memiliki sudut yang disebut kemiringan dari ekuator. Dari sudut pandang pengamat di bumi, matahari bergerak dalam bidang ekliptika yang diperlihatkan pada Gambar 3. Sudut kemiringan ini berubah terus menerus. Setelah berabad-abad, saat ini sudut kemiringannya adalah $23,44^\circ$. Kemiringan inilah yang menyebabkan terjadinya empat musim. Pada ekuinoks musim semi, lintasan matahari memotong ekuator langit, menuju utara. Pada titik balik matahari musim panas, lintasan matahari mencapai titik paling utara, yaitu sekitar $23,44^\circ$ di atas ekuator langit.



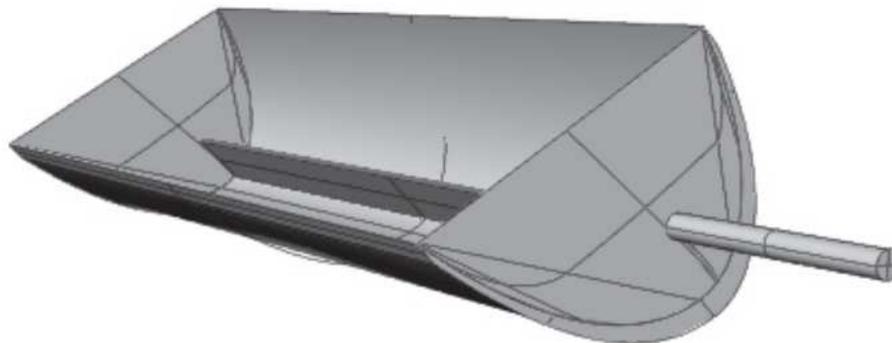
Gambar 3 Musim-Musim dan Kemiringan Ekuator

2.3 Efisiensi Optik

McMahon dan von Roedern melakukan pengukuran kurva tegangan-arus pada sel surya film tipis (*thin film*) yang disinari dengan laser. Arus hubung singkat yang dihasilkan sel surya tidak dipengaruhi oleh distribusi cahaya pada sel sepanjang garis cahaya tidak terlalu sempit (<1 mm). Karena divergensi dari sinar laser $0,28^\circ$ dan presisi, garis cahaya memiliki lebar 1 cm pada konsentrasi maksimum. Hal ini menyebabkan arus hubung singkat tidak dipengaruhi oleh

distribusi cahaya [4]. Menurut Wenham dkk., arus hubung singkat meningkat dengan suhu sekitar 0,06%/K. Mengingat kesalahan lainnya dalam pengukuran, peningkatan ini dapat diabaikan [5].

Pada suhu konstan arus hubung singkat dari modul surya dalam sistem terkonsentrasi hanya bergantung pada radiasi konsentrator dan hanya ditentukan oleh efisiensi optik konsentrator. Pengukuran arus hubung singkat sebagai fungsi dari sudut jatuh dapat digunakan untuk menentukan efisiensi optik dari sistem konsentrator jika dibandingkan dengan arus hubung singkat dari modul referensi. Seperti dapat dilihat pada Gambar 4, sumbu dipasang pada titik fokus dua cermin parabola. Konsentrator diputar di sekitar sumbu dengan matahari berada pada bidang meridian yang tetap. Pengukuran dilakukan pada berbagai sudut melintang.



Gambar 4 Konsentrator Optik

Efisiensi sel sebanding dengan faktor pengisian (*fill factor* atau FF), yang dihitung pada daya maksimum. Faktor pengisian tinggi berarti efisiensi tinggi. Faktor pengisian dihitung menurut Persamaan (1) dengan I_{SC} adalah arus hubung singkat (A), V_{OC} adalah tegangan rangkaian terbuka (V) dan P_{max} adalah daya maksimum (W).

$$FF = \frac{P_{max}}{I_{SC} V_{OC}} \quad (1)$$

Energi yang diterima oleh alat pengubah energi disebut masukan (*input*) dan hasil perubahan energi dalam bentuk yang diharapkan disebut keluaran (*output*). Efisiensi didefinisikan sebagai hasil bagi keluaran dan masukan dikali seratus persen dan secara matematis ditulis dengan Persamaan (2).

$$\eta_{FV} = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{P_{max}}{G \times A} \quad (2)$$

dengan η_{FV} efisiensi modul surya, P_{out} daya *output* (W), P_{in} daya *input* (W), G iradiasi matahari (W/m^2), A luas permukaan (m^2).

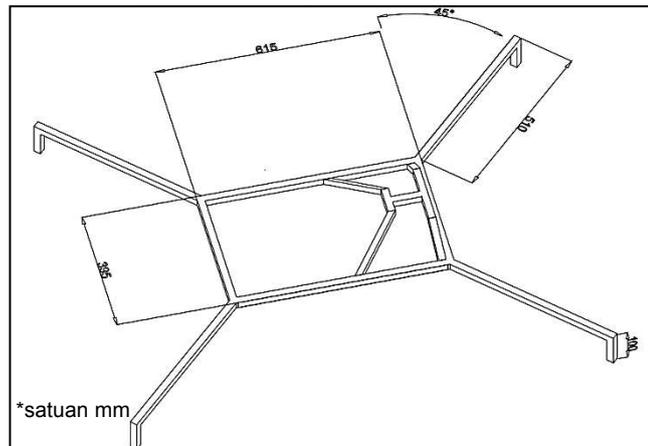
3. METODE PENELITIAN

3.1 Perancangan Sistem

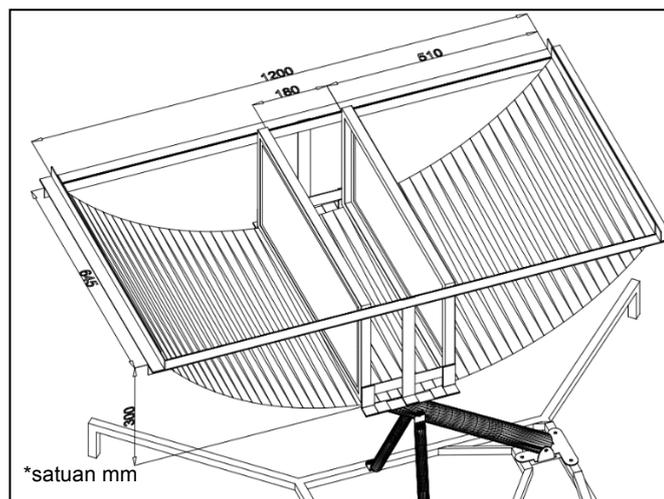
Modul surya yang digunakan berjenis monokristal dengan panjang 0,639 m dan lebar 0,294 m atau luas permukaan 0,187 m^2 . Modul surya dapat menghasilkan daya maksimum 20,124 W, arus hubung singkat 1,3 A, dan tegangan terbuka 21,2 V pada iradiasi matahari 1000 W/m^2 .

Sistem pembangkit tenaga surya yang dirancang diperlihatkan pada Gambar 5 - 7. Pada Gambar 5 diperlihatkan kaki konsentrator yang dapat digeser agar posisi konsentrator dapat disesuaikan dengan posisi matahari. Posisi matahari yang selalu berubah mempengaruhi sudut azimuth kaki konsentrator. Kaki konsentrator mempunyai lebar badan 0,395 m dan panjang 0,615 m.

Pada Gambar 6 diperlihatkan rangka konsentrator dengan lebar 0,645 m dan diameter 1,20 m. Modul surya diletakkan pada bagian tengah konsentrator dengan jarak antara kedua sel surya sebesar 18 cm. Kedua modul surya menerima cahaya dari masing-masing bidang konsentrator atau reflektor parabola. Kemiringan bidang konsentrator atau reflektor parabola dapat diatur agar energi surya yang diterima oleh permukaan modul surya maksimal sehingga daya listrik *output* yang dihasilkan meningkat. Pada Gambar 7 diperlihatkan keseluruhan sistem pembangkit tenaga surya dua sisi dengan reflektor parabola yang dirancang.



Gambar 5 Kaki Konsentrator



Gambar 6 Rangka Konsentrator



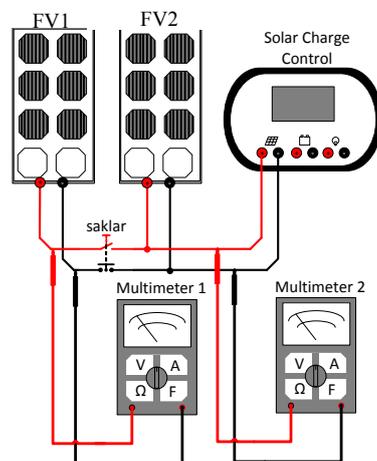
Gambar 7 Pembangkit Tenaga Surya Dua Sisi dengan Reflektor Parabola

3.2 Pengujian Sistem

Variabel-variabel yang diamati dalam penelitian ini meliputi intensitas cahaya matahari atau iradiasi (G), arus hubung singkat (I_{SC}), tegangan rangkaian terbuka (V_{OC}), temperatur modul surya (T), dan kondisi cuaca (cerah, mendung, gerimis).

Pengamatan dilakukan pada Lantai 9 (atap) Gedung E Universitas Trisakti, Jl. Kyai Tapa No. 1, Grogol, Jakarta Barat, DKI Jakarta, Indonesia yang terletak pada koordinat $-6,1679556$ LS dan $106,7914894$ BT.

Skema pengujian sistem pada kondisi tanpa beban diperlihatkan pada Gambar 8. Modul surya FV1 dan FV2 dihubungkan paralel terhadap terminal *Solar Charge Control* (SCC). Saklar dipasang di antara modul surya FV1 dan FV2. Pengujian dilakukan untuk masing-masing modul FV1 dan FV2 serta kedua modul FV1&FV2 secara bersamaan. Multimeter digunakan untuk mengukur tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh modul surya.

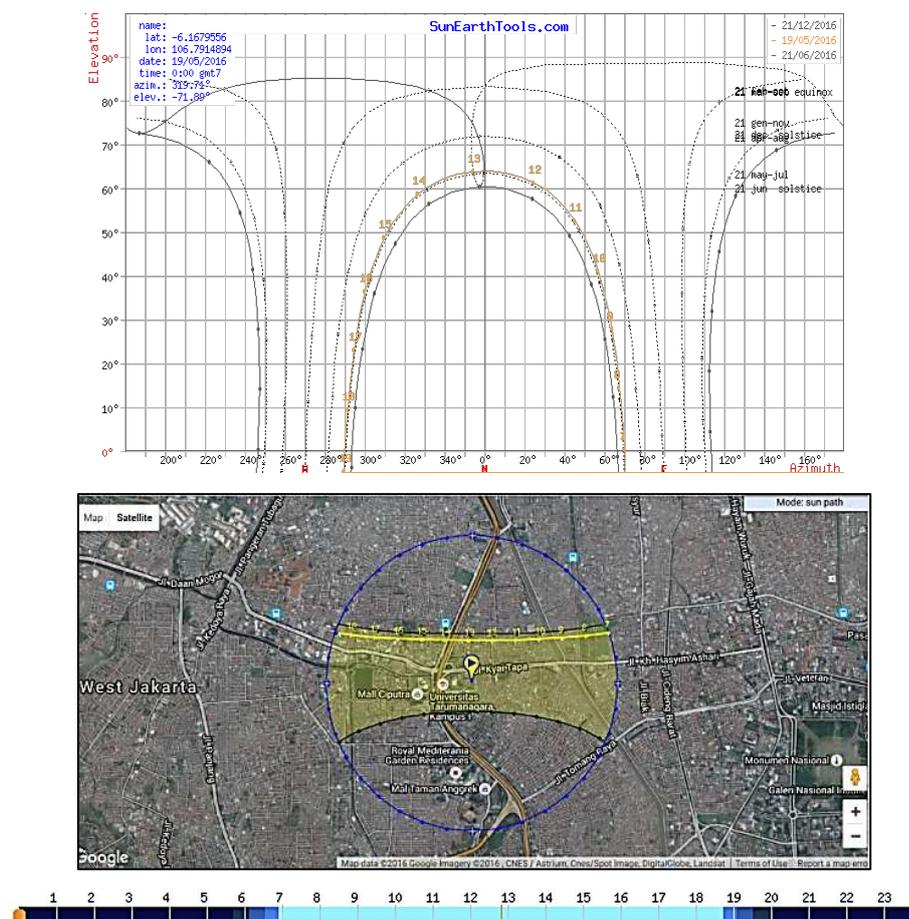


Gambar 8 Skema Pengujian Tanpa beban

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian bertujuan untuk membuktikan apakah sistem dapat berfungsi sesuai dengan teori yang dibahas sebelumnya. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui apakah reflektor parabola dapat meningkatkan daya *output* pembangkit.

Pada Gambar 9 dan Tabel 1 diperlihatkan hasil eksekusi *software* Sunearthtool pada tanggal 19 Mei 2016 yang menunjukkan posisi matahari (elevasi dan azimuth) pada lokasi dan waktu pengamatan maupun posisi matahari sepanjang tahun. Selain itu juga diperlihatkan skala intensitas cahaya matahari setiap jam dalam satu hari penuh.



Gambar 9 Hasil Eksekusi *software* Sunearthtool pada Tanggal 19 Mei 2016

Pada Tabel 2 diperlihatkan data hasil pengujian modul surya yang dilakukan pada Tanggal 19 Mei 2016. Pengukuran dilakukan pada pukul 10.00 sampai dengan 16.00 dengan interval waktu 30 menit. Hasil pengukuran pada Tabel 2 selanjutnya digunakan untuk menghitung daya output dan efisiensi sistem modul surya dengan reflektor parabola yang hasilnya diperlihatkan pada Tabel 3.

Tabel 1 Data Elevasi dan Azimut dari *Software* Sunearthtool

Tanggal	19/05/2016 GMT7				
Koordinat	-6.1679556, 106.7914894				
Lokasi	Jl. Kyai Tapa No.101, Tomang, Grogol Petamburan, Kota Jakarta Barat, Daerah Khusus Ibukota Jakarta, Indonesia				
Jam	Elevasi	Azimuth	Jam	Elevasi	Azimuth
6:54:40	-0,833°	70,17°	13:00:00	63,84°	354,31°
7:00:00	0,41°	70,03°	13:30:00	62,11°	339,22°
7:30:00	7,39°	69,04°	14:00:00	58,7°	326,69°
8:00:00	14,33°	67,7°	14:30:00	54,07°	317,04°
8:30:00	21,18°	65,94°	15:00:00	48,64°	309,82°
9:00:00	27,93°	63,68°	15:30:00	42,68°	304,4°
9:30:00	34,53°	60,76°	16:00:00	36,38°	300,3°
10:00:00	40,91°	56,96°	16:30:00	29,84°	297,16°
10:30:00	46,98°	51,96°	17:00:00	23,13°	294,73°
11:00:00	52,59°	45,31°	17:30:00	16,3°	292,85°
11:30:00	57,48°	36,42°	18:00:00	9,39°	291,41°
12:00:00	61,29°	24,73°	18:30:00	2,42°	290,33°
12:30:00	63,54°	10,25°	18:43:57	-0,833°	289,94°

Tabel 2 Data Pengujian Modul Surya pada Tanggal 19 Mei 2016

Jam	T (°C)	G (W/m ²)	FV1		FV2		FV1&FV2	
			V _{oc} (V)	I _{sc} (A)	V _{oc} (V)	I _{sc} (A)	V _{oc} (V)	I _{sc} (A)
10:00	35	266	17,95	0,291	17,21	0,296	17,92	0,651
10:30	33	234	17,11	0,288	17,29	0,284	17,32	0,594
11:00	35	215	17,83	0,224	17,89	0,223	17,82	0,538
11:30	34	184	17,78	0,185	16,93	0,252	18,53	0,416
12:00	38	222	16,15	0,297	19,73	0,249	18,24	0,541
12:30	37	212	17,51	0,254	19,56	0,233	19,27	0,486
13:00	38	239	17,92	0,282	17,86	0,271	17,75	0,603
13:30	39	294	18,67	0,323	19,68	0,285	18,44	0,711
14:00	38	269	18,35	0,316	19,07	0,282	17,45	0,684
14:30	37	283	18,27	0,312	18,08	0,346	17,73	0,683
15:00	36	282	19,28	0,297	18,27	0,322	18,25	0,691
15:30	38	293	18,23	0,347	19,05	0,343	18,76	0,696
16:00	38	310	18,93	0,352	18,37	0,368	18,83	0,658

Modul surya FV1 memiliki daya rata-rata (P_{FVavr1}) 5,229 W dan efisiensi rata-rata (η_{FVavr1}) 10,91 %. Jika dibandingkan dengan efisiensi modul surya referensi (η_{FV}) sebesar 10,71 % maka diperoleh peningkatan efisiensi sebesar 1,0186 kali.

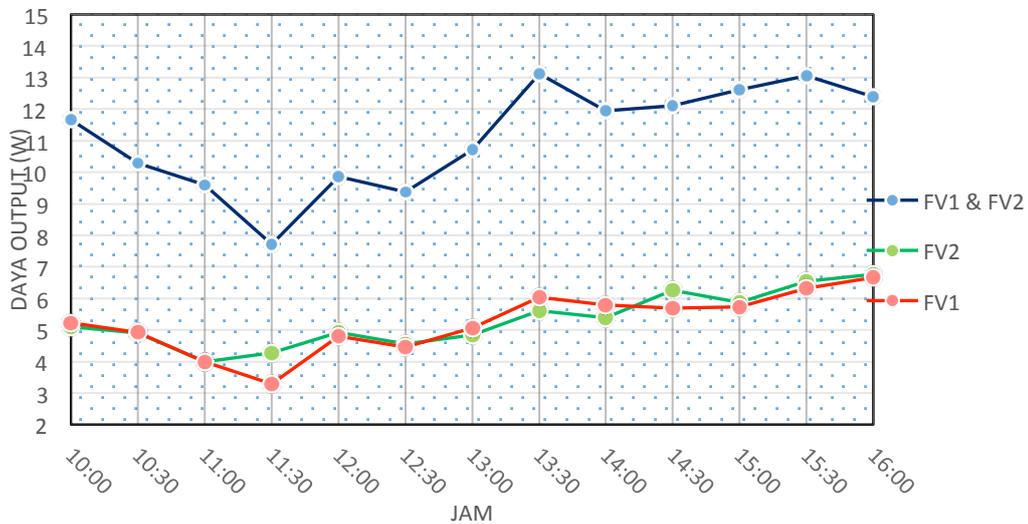
Modul surya FV2 memiliki daya rata-rata ($P_{FV_{avr2}}$) 5,307 W dan efisiensi rata-rata ($\eta_{FV_{avr2}}$) 11,13 %. Jika dibandingkan dengan efisiensi modul surya referensi (η_{FV}) sebesar 10,71 % maka diperoleh peningkatan efisiensi sebesar 1,039 kali.

Pada pengujian kedua modul surya bersama-sama (FV1&FV2) diperoleh daya rata-rata ($P_{FV_{avr12}}$) 11,108 W dan efisiensi rata-rata ($\eta_{FV_{avr12}}$) 11,64 %. Jika dibandingkan dengan efisiensi modul surya referensi (η_{FV}) sebesar 10,71 % maka terjadi peningkatan sebesar 1,086 kali.

Tabel 3 Daya dan Efisiensi Modul Surya Tanpa Beban pada Tanggal 19 Mei 2016

Jam	P_{F1} (W)	$\eta_{FV1}(\%)$	P_{F2} (W)	$\eta_{FV2}(\%)$	$P_{F1\&FV2}$ (W)	$\eta_{FV1\&FV2}(\%)$
10:00	5,223	10,45	5,094	10,19	11,666	11,67
10:30	4,928	11,21	4,910	11,17	10,288	11,70
11:00	3,994	9,89	3,989	9,88	9,587	11,87
11:30	3,289	9,52	4,266	12,34	7,708	11,15
12:00	4,797	11,50	4,913	11,78	9,868	11,83
12:30	4,448	11,17	4,557	11,44	9,365	11,76
13:00	5,053	11,25	4,840	10,78	10,703	11,92
13:30	6,030	10,92	5,609	10,15	13,111	11,87
14:00	5,799	11,47	5,378	10,64	11,936	11,81
14:30	5,700	10,72	6,256	11,77	12,110	11,39
15:00	5,726	10,81	5,883	11,10	12,611	11,90
15:30	6,326	11,49	6,534	11,87	13,057	11,86
16:00	6,663	11,44	6,760	11,61	12,390	10,64
Rata-rata	5,229	10,911	5,307	11,133	11,108	11,643

Pada Gambar 10 diperlihatkan daya yang dihasilkan modul surya FV1, FV2, dan FV1&FV2 pada pukul 10.00 sampai dengan pukul 16.00. Nilai daya tertinggi diperoleh pada pengukuran FV1&FV2 yang terjadi pada pukul 13.30 sebesar 13,111 W. Pada pukul 13.30, daya pada FV1 sebesar 6,030 W dan FV2 sebesar 5,609 W dengan jumlah total daya sebesar 11,639 W. Terdapat perbedaan daya sebesar 1,472 W yang disebabkan perubahan iradiasi matahari selama beberapa detik pada saat pengamatan sehingga nilai tegangan dan arus yang dihasilkan juga berubah.

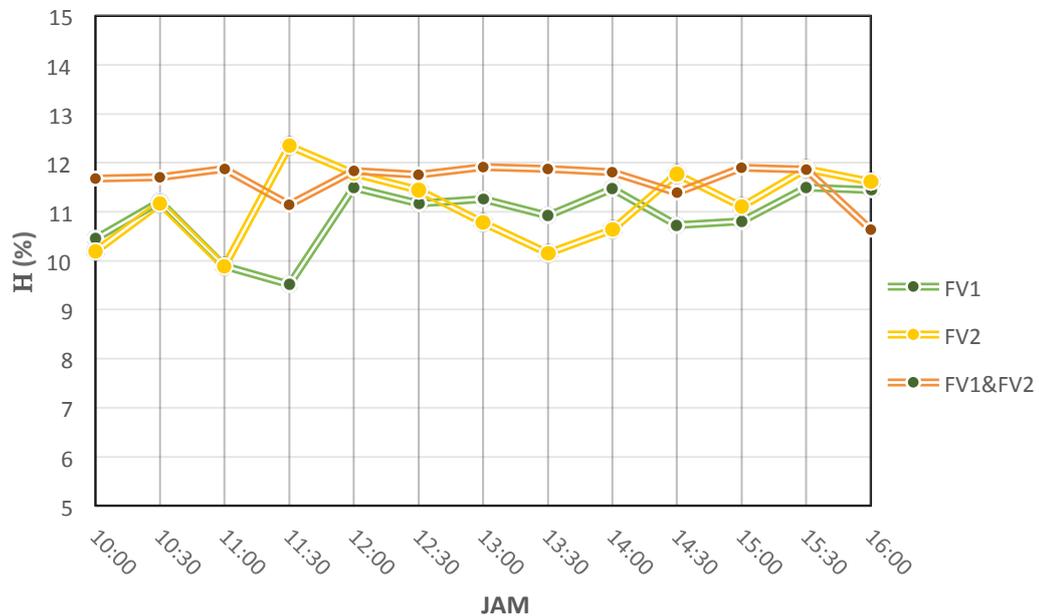


Gambar 10 Daya yang Dihasilkan Modul Surya pada Pengujian Tanpa Beban

Nilai daya terendah pada pengukuran FV1&FV2 terjadi pada pukul 11.30 sebesar 7,708 W. Pada pukul 11.30, daya pada FV1 sebesar 3,289 W dan pada FV2 sebesar 4,266 W dengan jumlah total daya 7,555 W. Perbedaan daya sebesar 0,153 W disebabkan meningkatnya iradiasi matahari pada saat pengukuran FV1&FV2 sehingga nilai tersebut mempengaruhi tegangan dan arus yang dihasilkan modul surya.

Hasil perhitungan efisiensi modul surya diperlihatkan pada Gambar 11. Nilai efisiensi tertinggi pada pengujian tanpa beban terjadi pada pukul 13.00 sebesar 11,92 %. Pada pukul 13.00, efisiensi FV1 sebesar 11,25 % dan FV2 sebesar 10,78 % dengan efisiensi rata-rata 11,05 %. Hasil perhitungan efisiensi rata-rata FV1 dan FV2 lebih kecil dari efisiensi FV1&FV2 secara bersamaan.

Efisiensi FV1&FV2 terendah terjadi pada pukul 16.00 sebesar 10,64 %. Efisiensi FV1 sebesar 11,4 % dan FV2 sebesar 11,6 % dengan efisiensi rata-rata 11,5 %. Terdapat perbedaan efisiensi yang disebabkan pengukuran daya FV1&FV2 menurun dibandingkan saat pengukuran daya FV1 dan FV2 dilakukan terpisah.



Gambar 11 Efisiensi Modul Surya pada Pengujian Tanpa Beban

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan yang diuraikan di bawah ini.

1. Efisiensi modul surya akan meningkat apabila iradiasi matahari yang memasuki permukaan modul surya lebih besar.
2. Satu modul surya (FV2) dengan reflektor parabola dapat menghasilkan efisiensi rata-rata 11,13 % atau 1,039 kali lebih tinggi dibandingkan efisiensi tanpa reflektor yang besarnya 10,71 %.
3. Pembangkit dengan dua modul surya dan reflektor parabola dapat menghasilkan daya maksimum 13,111 W pada pukul 13.30. Daya rata-rata yang dihasilkan adalah 11,108 W.
4. Pembangkit dengan dua modul surya dan reflektor parabola dapat menghasilkan efisiensi tertinggi sebesar 11,92 % pada pukul 13.00. Efisiensi rata-rata sistem adalah 11,64%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Francesco Calise, Laura Vanoli. “Parabolic Trough Photovoltaic/Thermal Collectors: Design and Simulation Model.” *Energies*, Vol. 5, hlm. 4186-4208, 2012.
- [2] Johan Nilsson. “Optical Design and Characterization of Solar Concentrators for Photovoltaics”. Tesis. Lund University, Sweden, 2005.
- [3] Olindo Isabella, Arno Smets, Klaus Jäger, Miro Zeman, René van Swaaij. *Solar Energy: The Physics and Engineering of Photovoltaic Conversion, Technologies and Systems*. Cambridge: UIT Cambridge, 2016.
- [4] T.J. McMahon, B. von Roedern. “Effect of Light Intensity on Current Collection in Thin-Film Solar Cells.” *26th IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, 1997.
- [5] Stuart R. Wenham, Martin A. Green, Muriel E. Watt, Richard Corkish. *Applied Photovoltaics*. London: Earthscan, 2007.