

## UJI EKSPERIMENTAL PENGARUH SUDUT KEMIRINGAN MODUL SURYA 50 WATT PEAK DENGAN POSISI MENGIKUTI PERGERAKAN ARAH MATAHARI

Eflita Yohana<sup>1</sup>, Darmanto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin - Fakultas Teknik - Universitas Diponegoro

### Keywords :

*The Angle of Declination*  
*The angle of the sundial*  
*The angle of an azimuth of the sun*  
*Photovoltaic*  
*The angle slope*

### Abstract :

*Utilization of solar energy in the generation of electrical energy has been done using the solar cell panel, but the solar cell panels are installed all this time still static (do not follow the movement of the sun). Then with this condition solar panel are unable to catch maximally the beam of sunlight throughout the day and as a result of this, the electrical energy generated was not maximal.*

*To overcome the limitations of solar cell panels that static, then on the final task of this research will be designed solar cell panels that can follow the movement of the Sun using the calculation of latitude, the angle declination, the angle of the sundial and slope by changing position the lay module solar system (photovoltaic) follow the movement of the Sun according to the calculation of these parameters when testing so expect irradiation ( $W/m^2$ ), as input will produce output in the form of a current affair brief ( $I_{sc}$ ), open circuit voltage ( $V_{oc}$ ), and power output ( $P_{out}$ ). Then compare how much the value of irradiation ( $W/m^2$ ), short circuit current ( $I_{sc}$ ), open circuit voltage ( $V_{oc}$ ), and power output ( $P_{out}$ ) on the solar module (photovoltaic) when the position of following the direction of the movement of the Sun with a solar module (photovoltaic) when the horizontal position.*

*The result of testing module solar (photovoltaic) can be seen that results power output reached 39.2 watt on averages, with irradiation 949.8  $W/m^2$  and current obtained by 2.6 A (ampere) It was because photovoltaic followed the direction of movement when the sun will always positioned photovoltaic to remain face to sun so that it stays will be able to catch the emission of the sun maximally.*

### PENDAHULUAN

Pemanfaatan energi matahari dalam pembangkitan energi listrik telah banyak dilakukan dengan menggunakan panel sel surya. Panel sel surya yang terpasang selama ini masih bersifat statis (tidak mengikuti pergerakan matahari). Dengan kondisi ini maka panel surya tidak dapat menangkap secara maksimal pancaran sinar matahari sepanjang hari dan Akibatnya energi listrik yang dibangkitkan tidak maksimal.

Untuk mengatasi keterbatasan pada panel sel surya yang statis, maka pada penelitian tugas akhir ini akan dirancang panel sel surya yang dapat mengikuti pergerakan matahari menggunakan perhitungan lintang, sudut deklinasi, sudut jam matahari dan kemiringan dengan mengubah posisi letak modul surya (*photovoltaic*) mengikuti pergerakan matahari sesuai perhitungan parameter tersebut saat pengujian sehingga diharapkan iradiasi ( $W/m^2$ ) sebagai input masukan akan menghasilkan output keluaran berupa arus hubung singkat ( $I_{sc}$ ), tegangan rangkaian terbuka ( $V_{oc}$ ) dan daya keluaran ( $P_{out}$ ) pada modul surya. Kemudian membandingkan berapa besar nilai iradiasi ( $W/m^2$ ), arus hubungan

singkat ( $I_{sc}$ ), tegangan rangkaian terbuka ( $V_{oc}$ ), daya keluaran ( $P_{out}$ ) pada modul surya (*photovoltaic*) saat posisi mengikuti arah pergerakan matahari dengan modul surya (*photovoltaic*) saat posisi horisontal.

Pada paper ini penulis hanya melakukan penelitian tentang uji eksperimental pengaruh sudut kemiringan modul surya 50 watt peak dengan posisi mengikuti pergerakan arah matahari.

### DASAR TEORI

#### Energi Matahari

Intensitas radiasi matahari di luar atmosfer bumi bergantung pada jarak antara matahari dengan bumi. Tiap tahun, jarak ini bervariasi antara  $1,47 \times 10^8$  km dan  $1,52 \times 10^8$  km dan hasilnya besar pancaran  $E_0$  naik turun antara  $1325 W/m^2$  sampai  $1412 W/m^2$ . Nilai rata-ratanya disebut sebagai konstanta matahari dengan nilai  $E_0 = 1367 W/m^2$  [3].

Pancaran ini tidak dapat mencapai ke permukaan bumi. Atmosfer bumi mengurangi *insolation* yang melewati pemantulan, penyerapan (oleh ozon, uap air, oksigen, dan karbon dioksida), serta penyebaran (disebabkan oleh molekul udara, partikel debu atau polusi). Di cuaca yang bagus pada siang hari, pancaran bisa mencapai  $1000 W/m^2$  di permukaan

bumi. *Insolation* terbesar terjadi pada sebagian hari-hari yang berawan dan cerah. Sebagai hasil dari pancaran matahari yang memantul melewati awan, maka *insolation* dapat mencapai hingga  $1400 \text{ W/m}^2$  untuk jangka pendek[3].

#### Photovoltaic

Kata '*photovoltaic*' terdiri dari dua kata yaitu *photo* dan *volta*. *Photo* yang berarti cahaya (dari bahasa Yunani yaitu phos, photos: cahaya) dan *Volta* (berasal dari nama seorang fisikawan italia yang hidup antara tahun 1745-1827 yang bernama Alessandro Volta) yang berarti unit tegangan listrik. Dengan kata lain, arti *photovoltaic* yaitu proses konversi cahaya matahari secara langsung untuk diubah menjadi listrik. Oleh karena itu, kata *photovoltaic* biasa disingkat dengan PV. *photovoltaic* merupakan elemen aktif (semikonduktor) yang memanfaatkan efek *photovoltaic* untuk mengubah energi surya menjadi energi listrik tanpa penggunaan dari bagian-bagian mekanis yang bergerak dan tanpa penggunaan bahan bakar[2].

Beberapa macam cara yang dapat mendapatkan radiasi matahari yang lebih banyak yaitu dengan mengatur kedudukan modul surya, dimana kedudukan modul surya dapat diatur mengikuti pergerakan arah matahari dengan menentukan posisi sudut kemiringan, sudut deklinasi, bujur lintang, sudut *zenith*, sudut datang matahari, sudut permukaan *azimuth*, serta sudut jam matahari terhadap pergerakan arah matahari. Cara kedua adalah dengan menggunakan cermin pantul[4].

#### Pengaruh Posisi Modul Surya Terhadap Pergerakan Arah Matahari

Posisi relatif matahari terhadap modul surya (*photovoltaic*) di bumi bisa dijelaskan dalam beberapa sudut. Beberapa diantaranya bisa dilihat pada gambar 2.5 Sudut-sudut itu adalah[1] :

##### ➤ Latitude (garis lintang)

Adalah sudut lokasi di sebelah utara atau selatan dari equator (khatulistiwa), utara positif ;  $-90^0 \leq \varphi \leq 90^0$ . Hal ini pengujian modul surya dilakukan ditempat kampus undip semarang dengan letak geografisnya berada pada  $7^{\circ}\text{LS} - 110^{\circ}\text{BT}$ .

##### ➤ Deklinasi ( $\delta$ )

Adalah sudut posisi matahari terhadap bidang khatulistiwa, utara positif  $-23,45^0 < \delta < 23,45^0$ . Deklinasi dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan :

$$\delta = 23,45^0 \sin \left( 260 \frac{360 \times n}{365} \right), \text{ dimana } n = \text{hari dalam bulan} \quad (1)$$

##### ➤ Kemiringan ( $\beta$ )

Adalah sudut antara permukaan bidang yang ditanyakan dengan permukaan horisontal. *Slope* (kemiringan) dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan :

$$\beta = \text{Tan}^{-1} (\text{Tan } \theta_z \times \cos \gamma_s) \quad (2)$$

##### ➤ Sudut permukaan *azimuth* ( $\gamma$ )

Adalah proyeksi kebidang horizontal normal terhadap permukaan dari lokasi bujur, dengan nol menghadap selatan, timur negatif, barat positif ;  $-180^0 \leq \gamma \leq 180^0$ .

##### ➤ Sudut jam matahari ( $\omega$ )

Adalah sudut penyimpangan matahari di sebelah timur atau barat garis bujur lokal karena rotasi pada porosnya sebesar  $15^0$  per jam ; sebelum jam 12.00 negatif, setelah jam 12.00 positif.

$$\omega = (t_s - 12) \times \frac{360}{24}, t_s = \text{waktu jam} \quad (3)$$

##### ➤ Sudut datang ( $\theta$ )

Adalah sudut antara permukaan radiasi langsung normal vertikal terhadap radiasi langsung vertikal kolektor. Sudut datang dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan :

$$\theta = \cos^{-1} (1 - \cos^2 \delta \times \sin^2 \omega)^{1/2} \quad (4)$$

##### ➤ Sudut *zenith* ( $\theta_z$ )

Adalah sudut antara garis vertikal bidang normal dan garis datang sinar matahari. Sudut *zenith* dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan :

$$\theta_z = \cos^{-1} (\cos \varphi \times \cos \delta \times \cos \omega + \sin \varphi \times \sin \delta) \quad (5)$$

##### ➤ Sudut ketinggian matahari ( $\alpha_s$ )

Adalah Sudut antara garis horisontal dengan garis matahari datang pada modul surya (*photovoltaic*).

##### ➤ Sudut azimuth matahari ( $\gamma_s$ )

Adalah sudut penyimpangan dari selatan dengan proyeksi radiasi langsung pada bidang horisontal. Penyimpangan ke sebelah timur adalah negatif dan ke sebelah barat adalah positif. Sudut zenith dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan :

$$\gamma_s = \sin^{-1} \left( \frac{\sin \omega \times \cos \delta}{\sin \theta_z} \right) \quad (6)$$

#### Perhitungan Daya Masukan dan Daya Keluaran

Sebelum mengetahui berapa nilai daya sesaat yang dihasilkan kita harus mengetahui daya yang diterima (daya input), di mana daya tersebut adalah perkalian antara intensitas radiasi matahari yang diterima dengan luas area PV *module* dengan persamaan[4]:

$$P_{in} = I_r \times A \quad (7)$$

di mana:

$P_{in}$  = Daya input akibat *irradiance* matahari (Watt)

$I_r$  = Intensitas radiasi matahari ( $\text{Watt/m}^2$ )

$A$  = Luas area permukaan *photovoltaic module* ( $\text{m}^2$ )

Sedangkan untuk besarnya daya pada *solar cell* ( $P_{out}$ ) yaitu perkalian tegangan rangkaian terbuka ( $V_{oc}$ ), arus hubung singkat ( $I_{sc}$ ), dan *Fill Factor* (FF) yang dihasilkan oleh sel *Photovoltaic* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$P_{out} = V_{oc} \times I_{sc} \times \text{FF} \quad (8)$$

di mana:

$P_{out}$  = Daya yang dibangkitkan oleh *solar cell* (Watt)

$V_{oc}$  = Tegangan rangkaian terbuka pada *solar cell* (Volt)

$I_{sc}$  = Arus hubung singkat pada solar cell (Ampere)

FF = *Fill Factor*

Nilai FF dapat diperoleh dari rumus:

$$FF = V_{oc} - \ln(V_{oc} + 0.72) / V_{oc} + 1 \quad (9)$$

## METODOLOGI PENELITIAN

### Metode Pengumpulan Data

Pada penelitian ini ditempatkan variabel pengumpulan data meliputi intensitas cahaya matahari ( $I_t$ ), arus hubung singkat ( $I_{sc}$ ), tegangan rangkaian terbuka ( $V_{oc}$ ), suhu modul surya ( $T_{sc}$ ), suhu udara ( $T_s$ ), sedangkan variabel bebasnya yaitu waktu pengukuran ( $t$ ).

Pengumpulan data dilakukan terhadap sudut deklinasi, sudut *latitude*, sudut jam matahari, sudut *azimuth* matahari serta sudut kemiringan modul surya (*photovoltaic*) terhadap pergerakan matahari sebagai acuan dalam proses pengujian modul surya (*photovoltaic*) yang tujuannya untuk mengetahui nilai daya keluaran yang maksimal.

### Data Teknis Peralatan dan Alat Ukur yang Dipakai

- **Alat Penyangga Modul Surya**

Digunakan sebagai penyangga modul surya.

- **Modul Surya**

PV modul yang dipakai pada percobaan ini adalah PV modul dengan tipe ST-50-5M buatan cina yang diproduksi pada tahun 2009. Tipe modul surya untuk pengujian ini merupakan tipe *monocrystalline*.

- **Multimeter**

Multimeter yang digunakan pada pengukuran ini adalah multimeter digital (elektronik) yang dapat digunakan untuk mengukur Ampere, Voltase, dan Ohm (Resistansi). Dalam pengujian ini hanya dibutuhkan teganga dan arus searah

- **Solar Power Meter**

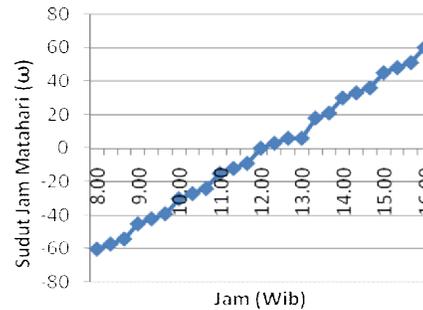
*Solar power meter* adalah suatu alat yang digunakan untuk mengukur intensitas radiasi matahari.

- **Kompas**

Kompas digunakan untuk menentukan arah penempatan modul surya (utara, barat, timur dan selatan) yang diukur dari posisi sudut horisontal modul surya terhadap pergerakan arah matahari. Dalam pengujian modul surya (*photovoltaic*), kompas bekerja untuk menentukan sudut *azimuth* matahari ( $\gamma_s$ ) yaitu sudut pergerakan arah matahari dari selatan ke barat dengan memancarkan radiasi langsung pada modul surya (*photovoltaic*) maka kompas yang bekerja berdasarkan medan magnet menempatkan modul surya (*photovoltaic*) dengan nilai *range* perubahan sudut yaitu  $360^\circ$  dengan resolusi  $1^\circ$ .

## ANALISA DAN PEMBAHASAN

### Grafik Hubungan Jam Terhadap Sudut Jam Arah Pergerakan Matahari

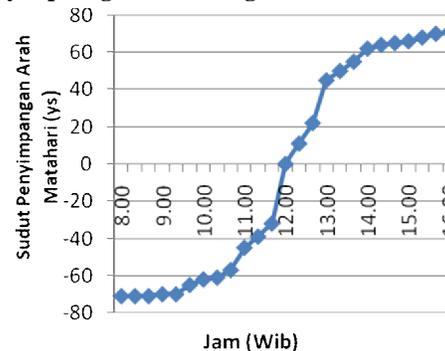


Gambar 1. Grafik Sudut Jam Arah Pergerakan Matahari Terhadap Waktu.

Hubungan sudut jam terhadap jam dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan  $\omega = (t_s - 12) \times \frac{360}{24}$  dimana  $t_s$  adalah waktu jam dan  $\omega$  adalah sudut jam matahari. Selanjutnya sudut jam akan bernilai negatif sebelum jam 12 dan sudut jam akan bernilai positif setelah jam 12.

Perhitungan sudut jam sangat diperlukan pada pengujian modul surya pada posisi horisontal maupun posisi mengikuti pergerakan arah matahari.

### Grafik Hubungan Jam Terhadap Sudut Penyimpangan Arah Pergerakan Matahari



Grafik 2. Hubungan Sudut Penyimpangan Arah Pergerakan Matahari Terhadap Waktu.

Hubungan sudut jam ditentukan dengan menggunakan persamaan  $\gamma_s = \sin^{-1} \left( \frac{\sin \omega t \times \cos \delta}{\sin \theta z} \right)$

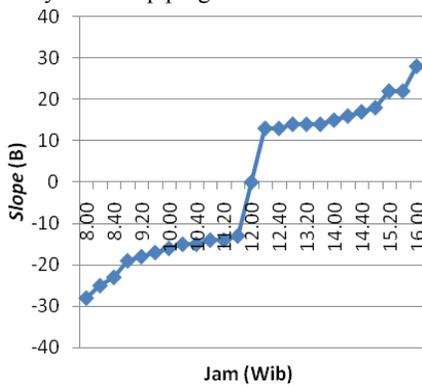
dimana  $\gamma_s$  adalah sudut penyimpangan pergerakan arah matahari dari selatan ke barat selanjutnya  $\gamma_s$  bernilai negatif sebelum jam 12 dan bernilai positif setelah jam 12.

### Grafik Hubungan Jam Terhadap Sudut Kemiringan Modul Surya

Untuk memperoleh nilai iradiasi, arus hubung singkat dan tegangan rangkaian terbuka yang maksimal maka diperlukan sudut kemiringan pada modul surya dari perubahan posisi horisontal terhadap pergerakan arah matahari.

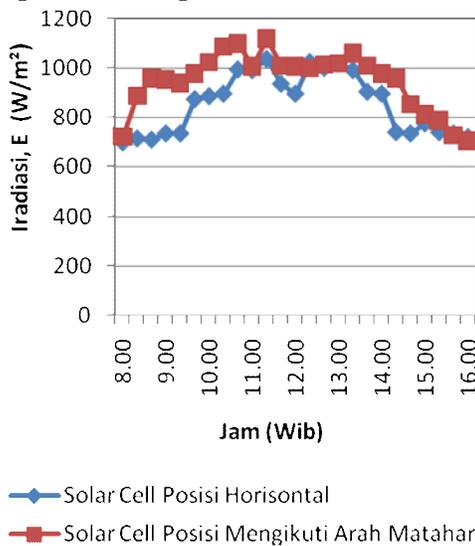
Sudut kemiringan pada modul surya dapat diperoleh dari persama  $\beta = \tan^{-1}(\tan \theta_z \times \omega)$  maka

didapatkan hubungan jam terhadap kemiringan modul surya terhadap pergerakan arah matahari.



Grafik 3. Sudut Kemiringan Modul Surya Terhadap Waktu.

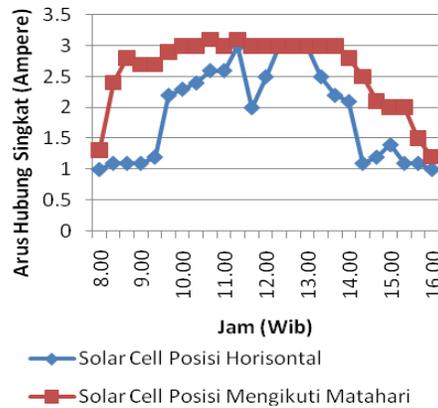
**Perbandingan Modul Surya Posisi Horizontal Dengan Posisi Mengikuti Arah Matahari**



Grafik 4. Perbandingan Iradiasi Terhadap Waktu.

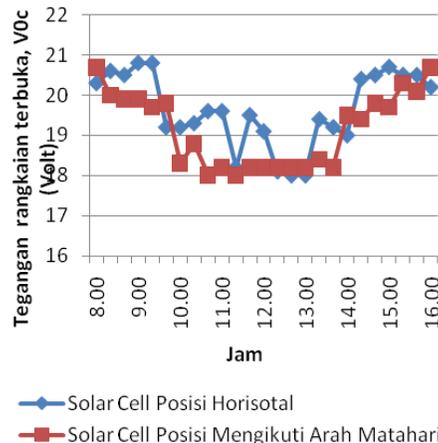
Pada grafik diatas iradiasi dengan modul surya mengikuti arah matahari dan sudut kemiringan modul surya mempunyai nilai iradiasi lebih besar dibandingkan dengan modul surya posisi horisontal (statis), hal ini dikarenakan modul surya dengan mengikuti pergerakan arah matahari tetap mendapatkan pancaran energi matahari secara maksimal.

Dari data hasil pengukuran iradiasi maka diperoleh nilai pengukuran rata-rata iradiasi pada modul surya 50 Wp mengikuti pergerakan arah matahari sebesar 949.8 W/m<sup>2</sup> dan diperoleh nilai rata-rata iradiasi pada saat modul surya posisi horisontal sebesar 859 W/m<sup>2</sup>.



Grafik 5. Perbandingan Arus Hubung Singkat Terhadap Waktu.

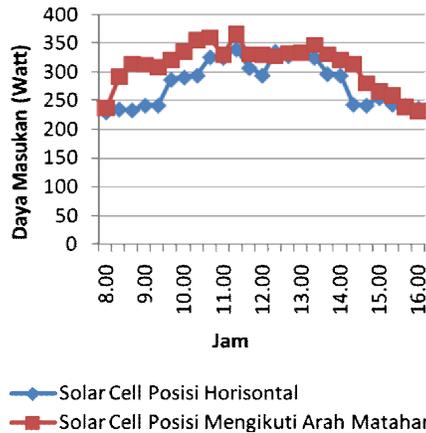
Dari grafik diatas terlihat bahwa arus yang dihasilkan oleh modul surya yang mengikuti pergerakan arah matahari lebih besar dibandingkan dengan arus yang dihasilkan oleh modul surya dalam posisi horisontal (statis), hal ini terjadi karena iradiasi yang ditangkap modul surya pada posisi mengikuti arah matahari lebih besar sehingga arus yang ditangkap pada posisi mengikuti arah matahari lebih besar karena semakin besar nilai iradiasi maka semakin besar pula nilai iradiasinya. Dari data hasil pengukuran yang dilakukan maka diperoleh nilai pengukuran rata-rata arus hubung singkat pada modul surya mengikuti pergerakan arah matahari sebesar 2.6 A dan diperoleh nilai rata-rata arus hubung singkat pada saat modul surya posisi horisontal sebesar 1.91 A.



Grafik 6. Perbandingan Tegangan Rangkaian Terbuka Terhadap Waktu.

Dari data hasil pengukuran yang dilakukan maka diperoleh nilai pengukuran rata-rata tegangan rangkaian terbuka pada modul surya mengikuti pergerakan arah matahari sebesar 19.1 V dan diperoleh nilai rata-rata tegangan hubung singkat pada saat modul surya posisi horisontal sebesar 19.6 V. Perbedaan hasil tegangan rangkaian terbuka (V<sub>oc</sub>) yang didapat dikarenakan modul surya selalu memposisikan tegak lurus terhadap matahari

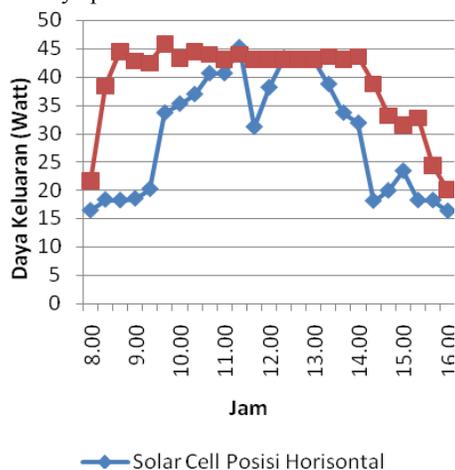
sehingga hasil yang di dapatkan akan lebih besar dibandingkan dengan modul surya dengan posisi horisontal.



Grafik 7. Perbandingan Daya Masukan Terhadap Waktu

Dari iradiasi yang didapatkan pada saat pengujian maka dihasilkan daya masukan dengan mengalikan luasan permukaan pada modul suryanya sehingga akan didapatkan suatu grafik perbandingan daya masukan pada posisi mengikuti arah pergerakan matahari dengan modul surya pada saat posisi horisontal.

Dengan arus hubung singkat yang semakin besar maka akan menyebabkan daya yang dihasilkan oleh modul surya akan besar pula. Daya masukan rata-rata yang dihasilkan pada saat modul surya posisi mengikuti arah matahari sebesar 311.1 W dan diperoleh nilai rata-rata daya masukan pada saat modul surya posisi horisontal sebesar 271.8 W.



Grafik 8. Perbandingan Daya Keluaran Terhadap Waktu.

Dari tegangan rangkaian terbuka ( $V_{oc}$ ) dan Arus hubung singkat ( $I_{sc}$ ) yang di dapatkan pada saat pengujian maka dihasilkan daya keluaran dengan mengalikan faktor pengisi (FF) pada modul suryanya sehingga didapatkan grafik perbandingan daya keluaran pada posisi mengikuti arah pergerakan

matahari dengan modul surya pada saat posisi horisontal.

Daya keluaran rata-rata yang dihasilkan pada saat modul surya posisi mengikuti arah matahari sebesar 39.2 W dan diperoleh nilai rata-rata daya keluaran pada saat modul surya posisi horisontal sebesar 29.6 W.

## KESIMPULAN

Dari hasil pengujian modul surya 50 WP dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada saat pengujian modul surya 50 Wp dengan posisi sudut kemiringan modul surya saat mengikuti arah pergerakan matahari menghasilkan :

Iradiasi rata-rata :  $949.8 \text{ W/m}^2$

Arus rata-rata hubungan singkat ( $I_{oc}$ ) : 2.6 A

Tegangan rata-rata rangkaian terbuka ( $V_{oc}$ ) : 19.1 V

Pada saat pengujian modul surya 50 Wp dengan posisi horisontal menghasilkan :

Iradiasi :  $859 \text{ W/m}^2$

Arus rata-rata hubungan singkat ( $I_{oc}$ ) : 1.91 A

Tegangan rata-rata rangkaian terbuka ( $V_{oc}$ ) : 19.6 V

2. Pada saat pengujian modul surya 50 Wp dengan posisi sudut kemiringan mengikuti arah pergerakan matahari menghasilkan :

Daya keluaran : 39.2 Watt

Pada saat pengujian modul surya 50 Wp dengan posisi horisontal menghasilkan :

Daya keluaran : 29.6 Watt

3. Hasil pengujian modul surya terlihat bahwa arus yang dihasilkan oleh modul surya mengikuti pergerakan arah matahari ternyata hasilnya lebih besar dibandingkan dengan modul surya pada saat posisi horisontal (diam), dikarenakan modul surya saat mengikuti arah pergerakan matahari akan selalu memosisikan modul surya untuk tetap menghadap matahari sehingga tetap akan dapat menangkap pancaran matahari secara maksimal.

## SARAN

Mengingat pentingnya pengaruh parameter sudut deklinasi, sudut *latitude* (lintang), sudut jam matahari, sudut *azimuth*, serta sudut kemiringan modul surya terhadap matahari menggunakan busur derajat dan kompas pada pengujian modul surya maka sebaiknya diperlukan ketelitian serta akurasi pada saat menentukan sudut kemiringan modul surya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Duffie, A William, William A Beckman.2008. *Solar Engineering Of Thermal Processes*. John Wiley & Sons. Newyork.
- Quaschnig, Volker. *Understanding Renewable Energy Systems*. London, Sterling, VA: Earthscan, 2005.

- Planning and Installing Photovoltaic Systems: A guide for installers, architects and engineers.*  
London, Sterling, VA: Earthscan, 2005.
- Wibowo, Hariyanto, 2009. *Studi Penggunaan Solar Reflector untuk Optimalisasi Output Daya pada Photovoltaic (PV).* Surabaya: Universitas Kristen Petra.
- Mintorogo, Danny Santoso (2000). *Strategi Aplikasi Sel Surya (Photovoltaic Cells) pada Perumahan dan Bangunan Komersial*, dalam Jurnal Dimensi Teknik Arsitektur, vol. 28, No. 2, Desember 2000, hal. 129-141.
- Nji Raden Poespawati dan Arief Udhiarto. *Karakteristik Lapisan Graded Si<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub> pada Solar Cell Silikon*, dalam Jurnal Teknologi, Edisi No. 3, September 2004, hal. 207-213.
- Sidopekso, Satwiko dan Yumanda, Vony. *Pengaruh Penggunaan Cermin Datar Dalam Ruang Tertutup pada Sel Surya Silikon*, dalam Jurnal Berkala Fisika, Vol. 1, No. 2, April 2010, hal. 73-76
- Butai, F Daniel, Michael T Miller. 2008. *Maximum Peak Power Tracker.* Wiley & Sons. Newyork
- Danang, Susilo, *Peningkatan Daya Keluaran Sel Surya Dengan Penjejak Matahari.*  
<http://www.2gk3undip.wordpress.com>