

## STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH SUDUT KEMIRINGAN TERHADAP PERPINDAHAN KALOR PADA MODUL *PHOTOVOLTAIC* UNTUK MENINGKATKAN DAYA KELUARAN

Inas Nabilah F\*, Arrad Ghani S, Fifi Hesty S

Program Studi Sistem Pembangkit Energi, Departemen Teknik Mekanika dan Energi,  
Politeknik Elektronika Negeri Surabaya  
Jl. Raya ITS, Sukolilo, Surabaya 60111.  
\*Email: nabilahinas68@gmail.com

### Abstrak

Meskipun PV telah banyak digunakan sebagai pembangkit listrik, daya keluaran yang dihasilkan bergantung pada intensitas radiasi matahari. Intensitas radiasi matahari yang diterima oleh Modul PV dapat dimaksimalkan dengan cara memasang modul PV dengan sudut kemiringan. Selain itu, ketika intensitas radiasi matahari meningkat, temperatur permukaan PV juga cenderung meningkat. Sehingga menyebabkan penurunan daya keluaran PV. Dengan mengetahui sudut kemiringan yang sesuai, akan dapat memaksimalkan energi cahaya dan meminimalisir energi panas yang diterima permukaan PV, sehingga didapatkan nilai daya keluaran yang maksimal dan pelepasan kalor yang tinggi. Pelepasan kalor dapat diketahui dengan menganalisa tahanan termal yang terjadi mulai dari matahari hingga ke bawah permukaan PV. Pada pengujian ini, PV menghadap ke arah Utara dan dimiringkan pada sudut  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$  dan  $40^\circ$ . Dimana pada tiap sudut kemiringan diukur intensitas radiasi yang diterima, temperatur permukaan dan lingkungan, kecepatan angin lingkungan, serta daya keluarannya. Pengujian dilakukan menggunakan modul PV komersial dengan daya 180 Watt Peak, dimana hasil pengujian didiskusikan dan disajikan. Hasil pengujian yang didapatkan yaitu pada sudut kemiringan  $30^\circ$  memiliki performa modul PV tertinggi dengan nilai efisiensi sebesar 8.93 – 14.13 %, Temperatur permukaan modul rata-rata  $48.7^\circ\text{C}$  dan pelepasan kalor yang cukup besar yaitu 387.56 W. Peningkatan performa dari modul PV sangat mempertimbangkan posisi modul PV, temperatur permukaan PV serta kondisi lingkungan saat beroperasi.

**Kata kunci:** daya keluaran, photovoltaic, pelepasan kalor, sudut kemiringan

## 1. PENDAHULUAN

Panel surya atau modul *photovoltaic* (PV) merupakan contoh penerapan energi surya. *Photovoltaic* yang telah banyak digunakan dan dikembangkan sebagai salah satu pembangkit tenaga listrik di negara-negara maju dan berkembang sebagai solusi untuk menekan penggunaan sumber daya fosil. Modul PV memanfaatkan cahaya matahari untuk dirubah menjadi energi listrik menggunakan efek *photovoltaic*. Menurut Kementrian ESDM (2016), Surabaya yang berada di kawasan barat Indonesia memiliki radiasi matahari menacapai  $4.5 \text{ kWh/m}^2$ . Sehingga potensi energi surya di Indonesia, khususnya di Kota Surabaya cukup besar.

Meskipun PV telah banyak digunakan sebagai pembangkit listrik, daya keluaran yang dihasilkan tidak konstan bergantung pada intensitas radiasi matahari. Intensitas radiasi matahari yang diterima tentu tidak konstan. Hal ini dikarenakan gerak semu matahari (harian dan bulanan), dan kondisi cuaca (cerah, berawan dan hujan), serta letak geografis PV. Sehingga posisi permukaan PV sangat mempengaruhi besarnya radiasi yang diterima oleh sel-sel surya. Intensitas radiasi matahari yang diterima oleh Modul PV dapat dimaksimalkan dengan cara memasang Modul PV dengan sudut kemiringan( $\beta$ ) dan sudut azimuth ( $\gamma$ ) yang tepat (Pangestuningtyas, 2013)

Pemanasan pada sel surya yang disebabkan oleh kelebihan energi foton dan rugi-rugi refleksi dimana dapat mengurangi efisiensi dari modul PV. Sehingga dengan mengurangi temperatur sel surya, maka efisiensi sel surya akan meningkat. Namun peningkatan tersebut bergantung pada temperatur kerja dari sel. Menurut Mosfegh (1998), penurunan sebesar  $20^\circ\text{C}$  akan meningkatkan efisiensi antara 0,6 dan 1 % . Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh sudut kemiringan terhadap radiasi matahari yang diterima dan performa modul PV, serta pelepasan kalor (panas) yang terjadi pada modul PV.

## 2. METODOLOGI

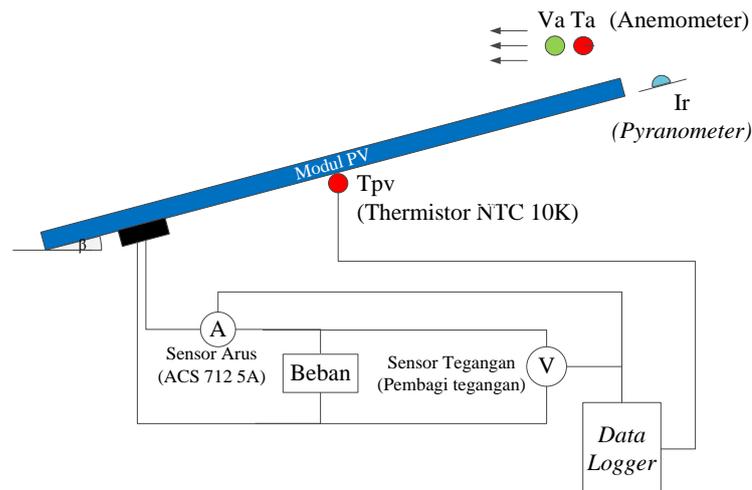
### 2.1. Pengujian Sistem

Modul PV yang digunakan untuk penelitian ini yaitu tipe *monocrystalline* dengan daya maksimum 180 Watt. Detail spesifikasi modul PV ditunjukkan pada Tabel 1.

**Tabel 1. Spesifikasi modul PV**

Spesifikasi	Nilai
Daya Maksimum (Pmax)	180 W
Tegangan maksimum (Vmax)	35.4 V
Arus Maksimum (Imax)	5.09 A
Tegangan Terbuka (Voc)	44.6 V
Arus hubung singkat (Isc)	5.4 A
Toleransi Pmax	± 3 %
<i>Practical module Efficiency</i>	16.38 %
Berat	16 Kg
Dimensi	1580 x 808 x 50 mm
Range Temperatur	-40°C sampai 85 °C

Penelitian ini dilaksanakan di halaman belakang gedung D4 Politeknik Elektronika Negeri Surabaya (PENS) pada tanggal 10 dan 11 Juli 2017 mulai pukul 09.00 hingga 15.00 WIB. Modul PV diarahkan ke arah utara karena posisi Surabaya berada di selatan jalur khatulistiwa. Kemudian modul dimiringkan sesuai dengan variasi sudut kemiringan yaitu 0°, 10°, 20°, 30°, dan 40°. Sistem pengujian ditunjukkan pada Gambar 1.



**Gambar 1. Sistem pengujian modul PV**

Pengukuran radiasi matahari menggunakan alat ukur radiasi matahari yaitu *pyranometer*. Pengukuran arus keluaran modul menggunakan sensor ACS712 5A dan tegangan keluaran diukur dengan menggunakan pembagi tegangan yang terintegrasi dengan *data logger* untuk perekaman data. Untuk menghitung nilai pelepasan kalor dibutuhkan parameter-parameter yaitu temperatur modul PV, kecepatan angin udara sekitar, dan temperatur ambient. Temperatur modul diukur menggunakan *thermistor* NTC 10k yang dipasang tepat ditengah bawah modul PV yang juga terintegrasi dengan *data logger*. Kecepatan angin dan temperatur ambient diukur menggunakan *anemometer*. Perekaman data oleh *data logger* dilakukan setiap 3 detik dan untuk *pyranometer*, kecepatan angin dan temperatur ambient setiap satu jam sekali.



**Gambar 2. Modul pengujian yang telah dibuat dan pengujian di lapangan**

## 2.2. Perhitungan Perpindahan Kalor / Pelepasan Kalor

Pada perhitungan pelepasan kalor yang terjadi pada modul PV dianggap dalam operasi *steady state* dan dalam satu dimensi arah sumbu y. Perpindahan kalor konduksi sempurna pada modul PV dan kaca penutup, maka tidak termasuk dalam perhitungan.

### 2.2.1. Analisa Perpindahan Kalor Konveksi

Koefisien perpindahan kalor oleh PV terhadap udara luar ( $h_w$ ) didasarkan pada hembusan angin. Sehingga koefisien angin dapat dihitung menggunakan persamaan (1) (Duffie dkk, 2013),

$$h_{c,pv-a} = h_w = 5.7 + 3.8v \quad (1)$$

Dimana  $v$  merupakan kecepatan udara (m/s) dan  $h_w$  adalah koefisien konveksi angin ( $W/m^2.K$ ).

### 2.2.2. Analisa Perpindahan Kalor Radiasi

Koefisien perpindahan kalor radiasi yang terjadi pada PV dengan udara luar menggunakan persamaan (2),

$$h_{r,pv-a} = \varepsilon_{pv}\sigma(T_g + T_a)(T_{pv}^2 + T_a^2) \quad (2)$$

Dimana  $\varepsilon_{pv}$  merupakan emisifitas modul PV,  $T_{pv}$  merupakan temperatur modul PV dan  $T_a$  merupakan temperatur udara luar.

### 2.2.3. Total Koefisien Pelepasan Kalor ( $U_T$ )

$$U_{T0} = \left( \frac{1}{h_w + h_{r,pv-a}} + \frac{1}{h_w + h_{r,pv-a}} \right)^{-1} \quad (3)$$

### 2.2.4. Nilai Pelepasan Kalor

Untuk menghitung besar pelepasan kalor yang terjadi pada modul PV, persamaan yang digunakan ditunjukkan pada persamaan (4) (Duffie dkk, 2013),

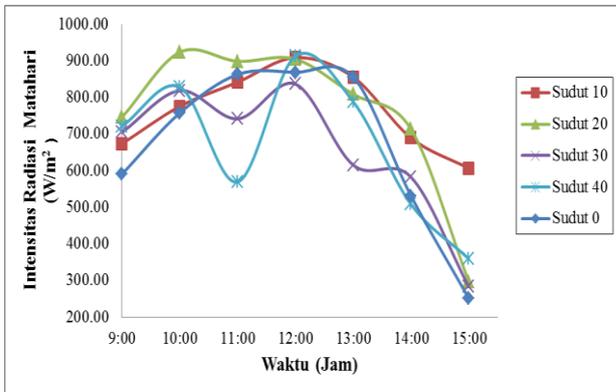
$$Q = Ac U_T (T_{pv} - T_a) \quad (4)$$

$Q$  merupakan nilai perpindahan kalor (W),  $Ac$  merupakan luas area modul PV ( $m^2$ ) dan  $U_T$  merupakan total koefisien perpindahan kalor ( $W/m^2.K$ ).

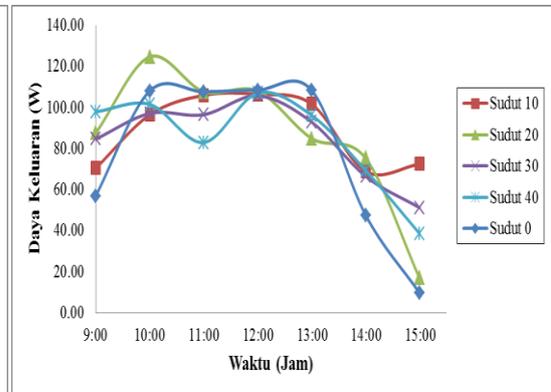
## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini didapatkan hasil berupa intensitas radiasi matahari yang diterima, daya keluaran, efisiensi elektrik, temperatur permukaan dan pelepasan kalor. Pada Gambar 3

menunjukkan besar intensitas radiasi matahari yang diterima sesuai dengan sudut kemiringan modul PV terhadap waktu. Intensitas radiasi yang diterima modul PV dengan variasi sudut kemiringan berbeda tiap harinya. Dapat dilihat pada sudut kemiringan  $10^\circ$  dan  $20^\circ$  memiliki bentuk parabolik sesuai dengan pergerakan matahari dan terjadi puncak radiasi pada jam 12.00. Berbeda dengan sudut kemiringan  $30^\circ$  dan  $40^\circ$ , intensitas matahari yang terjadi fluktuatif yang disebabkan kondisi cuaca yang cerah berawan karena perbedaan hari pengambilan data.

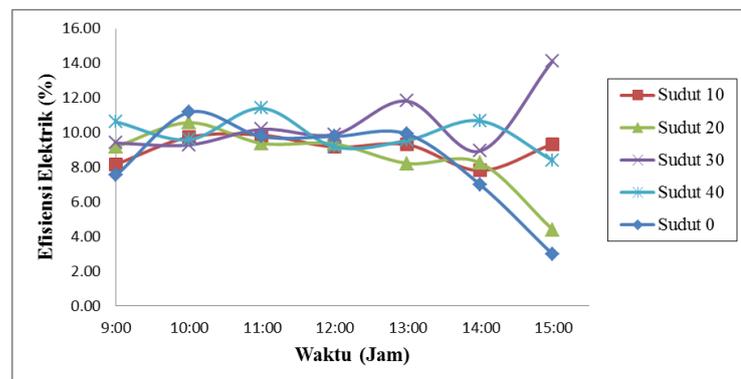


**Gambar 3. Intensitas radiasi matahari terhadap waktu**



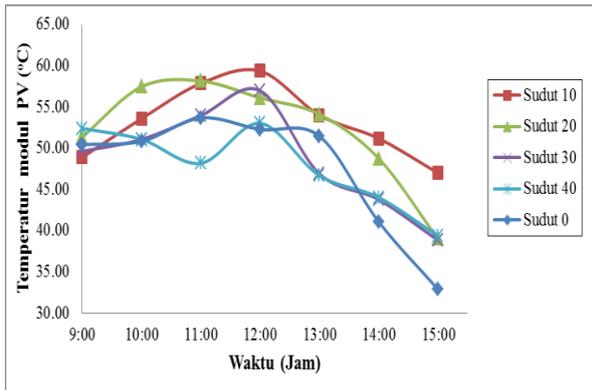
**Gambar 4. Daya Keluaran modul PV terhadap waktu**

Pada Gambar 4 menunjukkan daya keluaran modul PV terhadap waktu berdasarkan variasi sudut. Dapat diketahui bahwa pada sudut kemiringan  $20^\circ$  memiliki daya keluaran maksimum (*peak*) tertinggi sebesar 124 Watt jika dibandingkan variasi yang lain. Namun, daya total yang dihasilkan paling tinggi adalah pada saat sudut kemiringan  $10^\circ$  yaitu 621 W. Kemudian sudut kemiringan  $20^\circ$  yaitu 603.8 W, Sudut kemiringan  $30^\circ$  yaitu 593.4 W, sudut kemiringan  $40^\circ$  yaitu 592.4 W, dan yang paling rendah yaitu 545.6 pada sudut kemiringan  $0^\circ$ . Daya yang dihasilkan juga dipengaruhi oleh intensitas radiasi yang diterima dan kondisi cuaca pada saat pengambilan data. Untuk bahan perbandingan dilakukan pula pengujian variasi sudut satu hari penuh seluruh variasi dalam satu waktu pengambilan data. Berdasarkan pengujian tersebut didapatkan hasil semakin besar sudut kemiringan, maka semakin besar intensitas radiasi matahari, total daya keluaran, serta efisiensi elektrik. Modul PV yang semakin menghadap matahari, maka semakin besar intensitas radiasi yang diterima. Namun, kondisi tersebut hanya sampai sudut  $30^\circ$ , setelah itu tidak lagi mengalami kenaikan. Hal tersebut dikarenakan, sudut kemiringan yang terlalu tinggi menyebabkan penerimaan cahaya kurang maksimal atau semakin menjauhi matahari, terlebih pada saat kondisi matahari terbit dan terbenam.

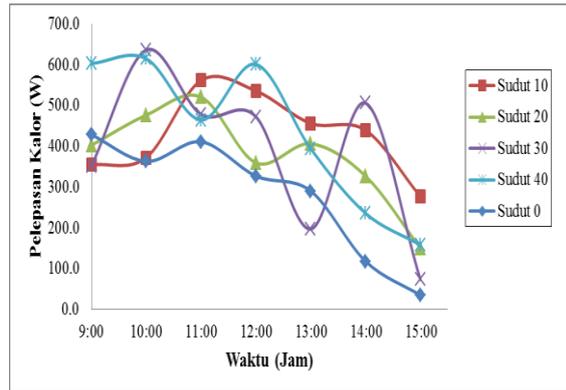


**Gambar 5. Efisiensi elektrik terhadap waktu**

Untuk mengetahui performa modul PV berdasarkan variasi sudut dapat diketahui dengan nilai efisiensi elektrik yang ditunjukkan pada Gambar 5. Pada Gambar 5 menunjukkan efisiensi tertinggi yaitu pada sudut kemiringan 30° dengan nilai efisiensi 8.93 - 14.13 % dengan rata-rata efisiensi 10.52 % dan terendah yaitu pada sudut kemiringan 0° yaitu 2.97 – 11.16 % dengan rata-rata efisiensi 8.3 %. Sehingga pada sudut kemiringan 30° memiliki performa yang paling baik diantara sudut yang lain. Pada Gambar 6 menunjukkan temperatur modul PV terhadap waktu dimana kenaikan temperatur sebanding dengan kenaikan intensitas radiasi matahari pada Gambar 3. temperatur rata-rata tertinggi pada sudut kemiringan 10 yaitu 53.1 °C dan terendah yaitu sudut kemiringan 0° yaitu 47.5 °C. pada sudut kemiringan 30° dimana memiliki performa yang paling tinggi memiliki temperatur modul pv rata-rata 48.7 °C.

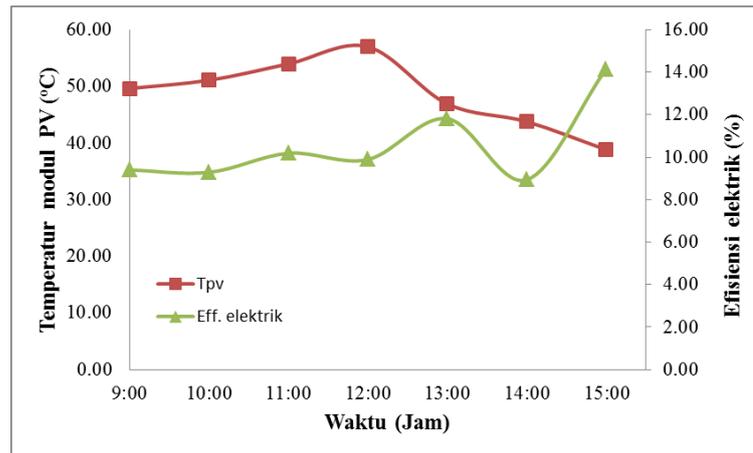


Gambar 6. Temperatur modul PV terhadap waktu



Gambar 7. Pelepasan kalor terhadap waktu

Pelepasan kalor yang terjadi pada modul PV ditunjukkan pada Gambar 7. Dapat dilihat pelepasan kalor yang terjadi fluktuatif. hal tersebut dikarenakan pengaruh kondisi lingkungan sekitar yaitu temperatur ambient dan juga kecepatan angin, serta intensitas radiasi matahari yang mempengaruhi temperatur modul PV. Pada Gambar 7 dapat diketahui nilai rata-rata pelepasan kalor yang paling besar yaitu pada sudut kemiringan 40° yaitu 438.42 W, sudut kemiringan 10° yaitu 427.76 W, sudut kemiringan 30 yaitu 387.56 W, sudut kemiringan yaitu 377.3 W dan yang paling rendah yaitu sudut kemiringan 0° yaitu 281.68 W. Pelepasan kalor sebanding dengan kenaikan temperatur modul PV. Pada sudut 10° memiliki pelepasan kalor yang besar dikarenakan nilai temperatur yang tinggi, sehingga melepas panas lebih banyak ke udara sekitar yang memiliki temperatur lebih rendah. sedangkan pada sudut 40° dan 30° disebabkan oleh posisi kemiringan yang besar dan memungkinkan banyak angin dengan kecepatan tertentu yang melewatinya sehingga banyak melepaskan panas ke udara. Sedangkan pada sudut 0°, memiliki nilai pelepasan kalor yang rendah dikarenakan posisi modul PV yang kurang mendapatkan angin serta temperatur yang cukup rendah, sehingga perpindahan kalor sedikit.



**Gambar 8. Hubungan temperatur dengan efisiensi elektrik**

Temperatur modul PV berpengaruh pada daya keluaran yang dihasilkan, hal ini dapat dibuktikan dengan hubungan temperatur modul PV dengan efisiensi elektrik yang ditunjukkan pada Gambar 8. Pada Gambar 8 merupakan hubungan temperatur modul PV dan efisiensi elektrik pada sudut kemiringan  $30^\circ$ . Terjadi penurunan efisiensi menjadi 9.28% ketika temperatur meningkat menjadi  $51.07^\circ\text{C}$  pada jam 10.00. Pada jam 12.00 juga terjadi penurunan efisiensi menjadi 9.89% ketika temperatur meningkat  $56.98^\circ\text{C}$ . Pada jam 13.00 temperatur mengalami penurunan menjadi  $46.1^\circ\text{C}$  kemudian efisiensi meningkat 11.81%. Kemudian pada saat jam 15.00, efisiensi meningkat tajam yaitu 14.13% ketika temperatur menurun menjadi  $38.83^\circ\text{C}$ . Hal tersebut juga bergantung pada intensitas radiasi matahari yang diterima modul PV. Pada data spesifikasi, disebutkan bahwa efisiensi modul PV sebesar 16% pada saat kondisi radiasi  $1000\text{ W/m}^2$  dan  $25^\circ\text{C}$ . Namun, pada data yang didapatkan hanya mencapai 14.13%.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa data dapat diketahui bahwa semakin besar sudut kemiringan modul PV ke arah utara di Surabaya maka semakin besar intensitas radiasi matahari yang diterima. Berdasarkan variasi sudut kemiringan didapatkan performa modul PV tertinggi yaitu pada sudut kemiringan  $30^\circ$  dengan nilai efisiensi sebesar 8.93 – 14.13%, Temperatur permukaan modul rata-rata  $48.7^\circ\text{C}$  dan pelepasan kalor yang cukup besar yaitu 387.56 W. Peningkatan temperatur modul PV dapat menurunkan efisiensi elektrik. Peningkatan performa dari modul PV sangat mempertimbangkan posisi modul PV, temperatur permukaan PV serta kondisi lingkungan saat beroperasi.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Duffie, John A., Beckman, William A., (2013), *Solar Engineering Of Thermal Processes. Fourth edition*. John Wiley & sons, inc, New Jersey.
- Kementerian Energi dan Sumberdaya Material, (2016), *Pemanfaatan Energi Surya di Indonesia*, <http://www.esdm.go.id/berita/56-artikel/3347-pemanfaatan-energi-surya-di-indonesia.html?tmpl=component&print=1&page>. Diakses: 13 Mei 2017, jam 08.16 WIB.
- Moshfegh, B., Sandberg, M., (1998), *Flow And Heat Transfer In The Air Gap Behind Photovoltaic Panels*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2 : pp. 287-301-
- Pangestuningtyas D.L, Hermawan, Karmoro., (2013), *Analisis Pengaruh Sudut Kemiringan Panel Surya Terhadap Radiasi Matahari Yang Diterima Oleh Panel Surya Tipe Array Tetap*, Semarang : Universitas Diponegoro.