

KOMPARASI ENERGI SURYA DENGAN LAMPU HALOGEN TERHADAP EFISIENSI MODUL *PHOTOVOLTAIC* TIPE *MULTICRYSTALLINE*

Asrul, Reyhan Kyai Demak, Rustan Hatib

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Tadulako Palu
Jl. Soekarno-Hatta Km. 9 Tondo, Palu 94119
E-mail : Asrulrami91@gmail.com

Abstract: Comparison between solar energy and halogen lights on efficiency of photovoltaic multicrystalline module. From various studies previously showed that the difference in the efficiency of the solar cells to the effects of the intensity and temperature of the surface of solar panels on the various types of solar cells. This study discusses the effect of temperature on the type Multicrystalline solar panel efficiency by using a simulation of light as a substitute source of the sun. The test is performed measurements of the parameters used to analyze the effect of light on the efficiency of solar panels. The results were obtained value of the highest efficiency at light power of 300 watts at 2.19% at the panel surface temperature of 31,3 °C, then 500 Watt lamp at a temperature of 2.13% and the latter 33,6 °C 1000 Watt lamp with efficiency values of 2.06% on the panel surface temperature of 34,5 °C.

Keywords : Temperature, PV Cell, Efficiency, Multicrystalline

Abstrak: Komparasi energy surya dan lampu halogen terhadap efisiensi modul phototovoltaic multicrystalline. Dari berbagai penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa adanya perbedaan efisiensi sel surya terhadap pengaruh intensitas dan temperatur permukaan panel surya pada berbagai jenis sel surya. Penelitian ini membahas mengenai pengaruh temperatur terhadap efisiensi panel surya tipe Multicrystalline dengan menggunakan simulasi cahaya lampu sebagai sumber pengganti matahari. Pengujian ini dilakukan pengukuran terhadap parameter yang digunakan untuk menganalisa pengaruh cahaya lampu terhadap efisiensi panel surya. Dari hasil penelitian diperoleh nilai efisiensi tertinggi pada daya lampu 300 Watt sebesar 2,19% pada suhu permukaan panel sebesar 31,3 °C, kemudian lampu 500 Watt sebesar 2,13% pada suhu 33,6 °C dan yang terakhir lampu yang 1000 Watt dengan nilai efisiensi sebesar 2,06% pada suhu permukaan panel sebesar 34,5 °C.

Kata Kunci : Temperatur, PV Cell, Efisiensi, Multicrystalline

PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan energi yang sangat penting bagi kehidupan manusia. Dimulai dari kebutuhan yang sifatnya mendasar seperti kebutuhan rumah tangga sampai dengan kebutuhan komersial, hampir semua membutuhkan energi listrik.

Saat ini ketersediaan sumber energi listrik tidak mampu memenuhi peningkatan konsumsi energi listrik di Indonesia. Terjadinya pemutusan sementara dan pembagian energi listrik

secara bergilir merupakan dampak dari terbatasnya energi listrik yang dapat disalurkan oleh PLN.

Salah satu upaya untuk mengatasi krisis energi listrik adalah mengurangi ketergantungan terhadap sumber energi fosil. Hal ini dikarenakan energi fosil yang ada jumlahnya terbatas dan tidak dapat diperbaharui. Oleh karena itu, para peneliti gencar untuk menemukan energi alternatif guna memenuhi kebutuhan energi listrik. Sel surya adalah salah satu alternatif pengganti yang dapat digunakan

karena selain perawatan yang lebih mudah juga ramah terhadap lingkungan. Sel surya ini memanfaatkan cahaya matahari yang dirubah menjadi listrik, intensitas cahaya yang dipancarkan dari matahari sangat berpengaruh terhadap efisiensi sel surya. Selain itu, banyak faktor-faktor lain yang mempengaruhi unjuk kerja sel surya seperti: kecepatan angin, massa udara, suhu lingkungan, temperature sel surya, serta karakteristik dari bahan sel surya tersebut. Oleh karena itu, pada penelitian ini penulis akan melakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh peningkatan temperatur terhadap efisiensi pada sel surya tipe *multicrystalline silicon* dengan mensimulasikan radiasi matahari menggunakan cahaya lampu.

TUJUAN PENELITIAN

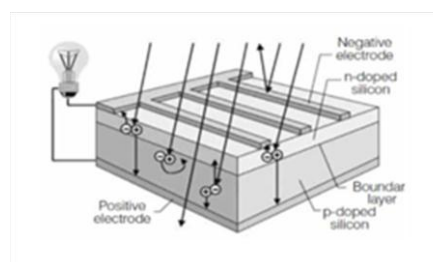
Tujuan penelitian ini adalah Untuk mengetahui pengaruh perubahan intensitas cahaya terhadap kinerja modul photovoltaik serta mengetahui pengaruh perubahan suhu permukaan PV cell terhadap efisiensi modul photovoltaik tipe *multicrystalline silicon*.

dapat mengubah energi matahari menjadi energi listrik secara langsung. Arus dan

Karakteristik Sel Surya

Total pengeluaran listrik (Watt) dari sel surya adalah sama dengan tegangan (V) operasi dikali dengan arus (I) operasi. Tegangan serta arus keluaran yang dihasilkan ketika sel surya mendapatkan penyinaran merupakan karakteristik yang disajikan dalam bentuk kurva I-V pada gambar 2.2. Kurva ini menunjukkan bahwa pada saat arus dan tegangan berada pada titik bekerja maksimal (*Maximum Power Point*) maka akan menghasilkan daya keluaran maksimum (P_{MPP}). Tegangan di *Maximum Power Point* (MPP) V_{MPP} , lebih kecil dari tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}) dan arus saat MPP I_{MPP} , adalah lebih rendah dari arus *short circuit*

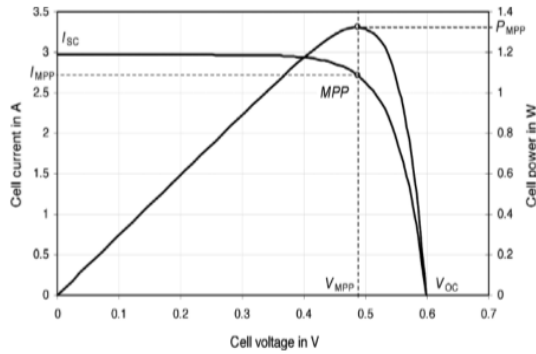
tegangan yang dihasilkan dari sel surya bergantung pada penyinaran matahari. Sel surya tersusun dari dua lapisan semikonduktor dengan muatan yang berbeda. Lapisan atas sel surya bermuatan negative sedangkan lapisan bawahnya bermuatan positif. Silikon adalah bahan semikonduktor yang paling umum digunakan untuk sel surya. Ketika cahaya mengenai permukaan sel surya, beberapa foton dari cahaya tersebut diserap oleh atom semikonduktor untuk membebaskan electron dari ikatan atomnya sehingga menjadi elektron yang bergerak bebas. Adanya perpindahan elektron-elektron inilah yang menyebabkan terjadinya arus listrik (Quaschning, 2005). Gambar 1 menunjukkan struktur dari sel surya.



Gambar 1. Struktur Sel Surya

(I_{sc}) (Quaschning, 2005).

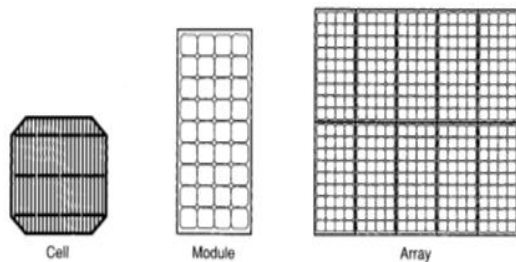
- Short Circuit Current* (I_{sc}) : Terjadi pada suatu titik dimana tegangannya sama dengan nol, sehingga pada saat ini, daya keluaran adalah nol.
- Open Circuit Voltage* (V_{oc}) : Terjadi pada suatu titik dimana arusnya sama dengan nol, sehingga pada saat ini pun daya keluaran adalah nol.
- Maximum Power Point* (MPP) : adalah titik daya *output* maksimum, yang sering dinyatakan sebagai "knee" dari kurva I-V.



Gambar 2. Kurva I-V

Panel Surya

Panel surya merupakan komponen yang berfungsi untuk mengubah energi sinar matahari menjadi energi listrik. Panel ini tersusun dari beberapa sel surya yang dihubungkan secara seri maupun paralel. Sebuah panel surya umumnya terdiri dari 32-40 sel surya tergantung ukuran panel (Quasching, 2005). Gabungan dari panel-panel ini akan membentuk suatu array.



Gambar 3. Hubungan Sel Surya, Panel Surya dan Array

Panel surya yang diterapkan pada penelitian ini adalah dengan jenis Polikristal (87 Wp). Tipe jenis polikristal ini memiliki luas permukaan sel yang lebih besar dibandingkan dengan jenis monokristalin untuk menghasilkan listrik yang sama. Untuk mendapatkan nilai efisiensi yang terjadi pada Panel surya, perlu dilakukan pengukuran kurva V-I yang kemudian diperoleh parameter – parameter lain seperti I_{sc} (arus hubung singkat), V_{oc} (tegangan tanpa beban), *fill factor* (FF), dan efisiensi (η). Karakteristik output dari Panel surya dapat dilihat dari kurva performansi, kurva V-I menunjukkan hubungan antara arus dan tegangan.

Daya Input

Sebelum mengetahui berapa nilai daya 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 Panel surya dengan persamaan.

$$P_{in} = I_r \times A$$

Keterangan:

P_{in} : Daya Input akibat *irradiance* cahaya lampu (Watt)

I_r : Intensitas radiasi cahaya lampu (Watt/m²)

A : Luas area permukaan *photovoltaic module* (m²)

Daya Output

Sedangkan untuk besarnya daya pada sel surya (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 :

$$P_{out} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF$$

Keterangan:

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*

Fill Faktor (FF)

Faktor pengisi (*Fill Faktor*, FF) merupakan nilai rasio tegangan dan arus pada keadaan daya maksimum dan Tegangan *open Circuit* (V_{oc}) dan Arus *Short Circuit* (I_{sc}). Persamaan *fill factor* digunakan untuk mengukur bagaimana luasan persegi pada karakteristik I-V suatu sel surya. Harga *fill factor* dapat

merupakan fungsi Voc. Secara empiris hubungan *fill factor* dengan Voc adalah:

$$FF = \frac{V_{oc} - \ln(V_{oc} + 0.72)}{V_{oc} + 1}$$

Efisiensi Sel Surya

Efisiensi yang terjadi pada sel surya adalah merupakan perbandingan daya yang dapat dibangkitkan oleh sel surya dengan energi input yang diperoleh dari *irradiance* matahari. Efisiensi yang digunakan adalah efisiensi sesaat pada pengambilan data.

$$\eta = \frac{\text{output}}{\text{input}} \times 100 \%$$

Efek temperatur terhadap panel surya

Bahan semikonduktor memiliki sifat sensitive terhadap temperature, begitu juga sel surya. Bertambahnya temperatur dapat mengurangi band gap dari sel surya, sehingga akan berpengaruh terhadap beberapa parameter dari sel surya. Bertambahnya temperature dapat dilihat sebagai peningkatan energi electron dari material. Sehingga untuk memutuskan ikatan membutuhkan energi yang sangat rendah dari kondisi normal. Pada model ikatan band gap semikonduktor, penurunan energi ikatan juga menurunkan band gap. Oleh sebab itu, peningkatan suhu dapat menurunkan band gap (Eki Adityawan 2010).

Temperatur mempengaruhi persamaan karakteristik dengan dua cara yaitu secara langsung melalui T pada bagian eksponensial dan secara tidak langsung, efeknya terjadi pada I_0 . Salah satu parameter solar sel yang dipengaruhi oleh temperatur adalah tegangan *open circuit*. Efek meningkatnya temperatur akan mengurangi secara linear nilai tegangan open circuit. Besarnya pengurangan ini secara terbalik sebanding terhadap V_{oc} , dan sel dengan nilai V_{oc} yang lebih tinggi, pengurangan nilai tegangannya akan lebih kecil ketika

temperatur naik. Arus yang dibangkitkan cahaya meningkat sedikit dengan meningkatnya temperatur karena meningkatkan jumlah karrier yang dihasilkan secara termal dalam sel. Berdasarkan salah satu sumber menyatakan bahwa temperatur yang tinggi dapat mengurangi efisiensi. Hal ini disebabkan perubahan tegangan lebih besar daripada perubahan pada arus.

METODE PENELITIAN

Pengujian dilakukan di dalam ruangan yang tertutup dengan memvariasikan intensitas cahaya lampu yang mengenai panel surya dengan menggunakan Lampu Halogen dengan daya 300 Watt, 500 Watt dan 1000 Watt. Sehingga secara otomatis suhu permukaan panel surya meningkat seiring dengan bertambahnya waktu dalam pengujian. Pengambilan data dilakukan setiap 1 menit sampai menit ke-6 dan selanjutnya pengambilan data dilakukan setiap 3 menit sampai temperatur mencapai 100 °C untuk masing-masing set bola lampu agar data yang didapatkan lebih spesifik. Dalam pengujian ini dilakukan pengukuran terhadap parameter-parameter yang digunakan untuk menganalisa pengaruh cahaya lampu dan perubahan suhu terhadap efisiensi panel surya. Oleh karena itu, alat ukur diletakan sedemikian rupa sehingga lebih mudah dalam penempatan dan pembacaanya. Parameter-parameter yang diukur dalam pengujian adalah sebagai berikut:

1. Suhu permukaan panel surya (°C)
2. Intensitas radiasi lampu yang dipancarkan kepermukaan panel surya (Watt/m²)
3. Arus yang dihasilkan oleh panel surya (Ampere)
4. Tegangan yang dibangkitkan oleh panel surya (Volt)
5. Temperatur Lingkungan

Parameter yang diukur ini kemudian menjadi data masukan dari perhitungan untuk mencari nilai efisiensi yang dihasilkan oleh panel surya tersebut. Untuk mempermudah dalam pengambilan data dan agar diperoleh data yang akurat maka diperlukan prosedur baku dalam

pengambilan data ini. Adapun beberapa tahapan itu adalah:

A. Tahap persiapan

1. Menyiapkan Bola lampu halogen untuk memvariasikan intensitas cahaya yang dipancarkan ke panel surya secara bergantian.
2. Menyiapkan alat ukur yang akan digunakan seperti *thermocouple type-K, Pyranometer, ampermeter* dan *multimeter*.

B. Tahap set up peralatan

1. Pasang bola lampu untuk pengujian pertama
2. Pasang *thermocouple type-K* untuk mengukur temperatur permukaan panel surya.
3. Pasang *pyranometer* untuk mengukur intensitas cahaya lampu yang dipancarkan ke panel surya.
4. Pasang *multimeter* untuk mengukur Tegangan yang dihasilkan oleh panel surya.
5. Pasang *Ampermeter* untuk mengukur Arus yang dihasilkan dari panel surya.

C. Tahap pengambilan data

1. Sebelum lampu dihidupkan terlebih dahulu dicatat temperature lingkungan dan temperature awal panel surya.
2. Setelah lampu dinyalakan, catat data yang tertera pada masing – masing alat ukur setiap 1 menit sampai menit ke-6, selanjutnya pengambilan data dicatat setiap 3 menit sampai temperature mencapai kurang lebih 100 °C.
3. Pengambilan data *Irradiance* dilakukan sebanyak 15 kali untuk setiap daya lampu disetiap sisi permukaan panel surya agar nilai *Irradiance* yang didapatkan lebih akurat. Berikut ini diuraikan cara mendapatkan nilai *Irradiance* dengan menggunakan *Phyranometer*. Contoh perhitungan diambil dari lampu dengan daya 300 Watt.

Berikut table hasil perhitungan perbandingan antara kinerja lampu halogen dengan sinar matahari.

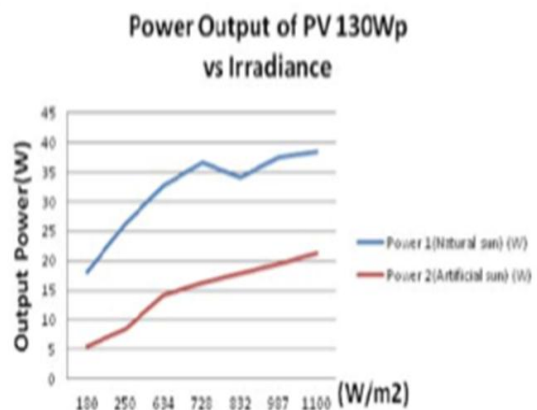
Tabel 1. Perbandingan Kinerja Lampu halogen dengan Sinar Matahari

Karakteristik	Intensitas (W/m ²)	Suhu (°C)	Arus (Amper)	Tegangan (Volt)	Daya output (Watt)	Daya Input (Watt)	Efisiensi (%)
PV Cell							
Lampu Halogen	427	31.3	0.4	19.51	6.14	280.45	2.19
	686	33.6	0.6	19.87	9.62	450.73	2.13
	1320	34.5	1.1	20.10	17.88	866.40	2.06
Sinar Matahari	450	41.5	2.6	19.38	40.50	300.49	13.48
	680	48.8	4.0	18.04	57.26	450.73	12.70
	910	55.5	4.7	19.20	72.41	600.97	12.05

Tabel tersebut diatas merupakan hasil perhitungan kinerja antara lampu halogen dengan sinar matahari langsung. Hasil perhitungan tersebut sangat terlihat jelas perbedaan karakteristik yang dihasilkan dari panel surya, dimana pada intensitas yang sama karakteristik Panel surya yang dibangkitkan dari lampu halogen jauh lebih rendah dibandingkan dengan sinar matahari.

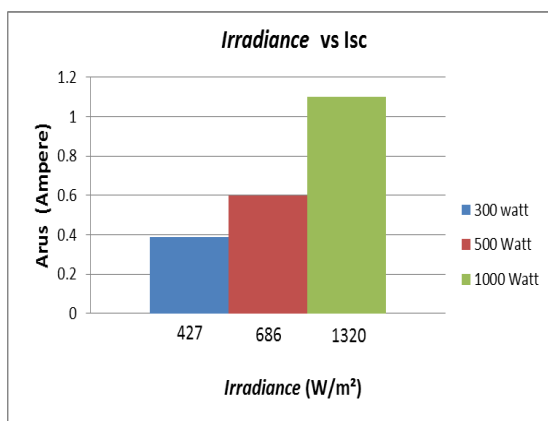
HASIL DAN PEMBAHASAN

Perbandingan Kinerja Lampu Halogen dan Matahari



Gambar 4. Grafik Perbandingan Matahari Alami dengan Matahari Buatan (Watjanatepin, 2010)

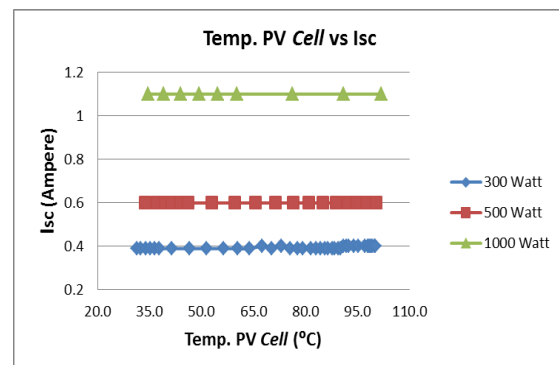
Gambar diatas merupakan salah satu grafik perbandingan sinar matahari dengan lampu halogen yang dikutip dari penelitian Watjanatepin (2010) menyatakan bahwa modul PV dengan matahari alami dapat menghasilkan daya listrik lebih dari modul PV yang sama dengan matahari buatan. Hal ini disebabkan karena perbedaan antara spectrum matahari alami jauh lebih besar dibandingkan dengan spectrum matahari buatan. Hal ini sesuai dengan pernyataan yang telah dikutip pada katalog *Oriel Product Training* tentang *solar simulation* menyatakan bahwa spectrum matahari memiliki suhu kecerahaan 5600 – 6000K yang jauh lebih besar dibandingkan dengan spectrum lampu halogen yang hanya berkisar 3200 K. Selain itu, cahaya yang memancar dari lampu-lampu pijar pada beberapa bagian terbuang akibat konduksi panas, konveksi panas, dan penyerapan. Bagian cahaya yang dapat merangsang indera penglihatan tiap detik disebut fluks cahaya (Young dan Freedman, 1999).



Gambar 5. Hubungan *Irradiance* terhadap *Short-Circuit Current*

Dari grafik diatas terlihat bahwa *Short-Circuit Current* (*Isc*) yang paling besar adalah terdapat pada lampu dengan daya 1000 Watt yaitu sebesar 1,1 Ampere. Kemudian pada lampu yang 500 Watt dengan arus sebesar 0,6 Ampere dan yang terakhir adalah lampu yang 300 Watt dengan arus sebesar 0,4 Ampere.

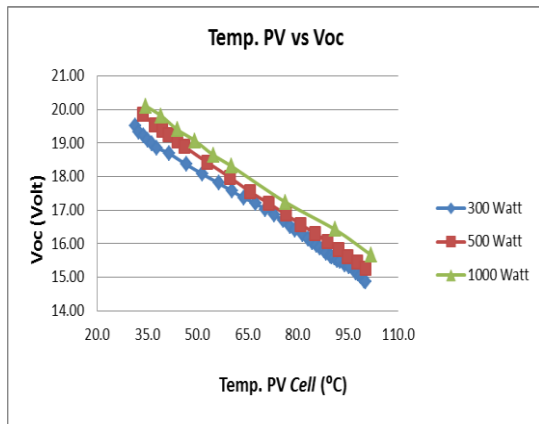
Dari gambar 5 juga terlihat bahwa pada lampu dengan daya 1000 Watt memiliki nilai *Irradiance* yang paling besar dibandingkan dengan daya lampu yang 500 dan 300 Watt. Untuk yang 1000 Watt nilai *Irradiance* sebesar 1320 W/m². Sedangkan untuk yang 500 dan 300 Watt hanya berkisar 686 dan 427 W/m². Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin besar daya lampu maka nilai *Irradiance* dan arus yang dihasilkan akan semakin besar. Intensitas akan berpengaruh terhadap daya keluaran panel surya, semakin rendah intensitas cahaya yang diterima oleh panel surya maka arus (*Isc*) akan semakin rendah. Hal ini membuat titik *Maximum Power Point* berada pada titik yang semakin rendah (Strong, 1987).



Gambar 6. Hubungan Temperatur terhadap *Short-Circuit Current*

Dari gambar 6 tersebut diatas dapat dilihat bahwa untuk setiap variasi lampu *Short-Circuit Current* (*Isc*) yang dihasilkan cenderung konstan terhadap temperatur. Akan tetapi, perbandingan arus yang dihasilkan dari ketiga variasi lampu tersebut berbeda – beda tergantung dengan daya dari masing – masing lampu. Untuk lampu dengan daya 1000 Watt memiliki arus sebesar 1,1 Ampere. Kemudian, berturut – turut diikuti daya 500 Watt dengan arus sebesar 0,6 Ampere dan daya 300 Watt sebesar 0,4 Ampere. Hal ini disebabkan karena *Irradiance* yang diterima dari panel surya tersebut berbeda. Grafik diatas juga membuktikan bahwa semakin besar *Irradiance* yang mengenai panel surya

maka *Short-Circuit Current* (I_{sc}) yang dihasilkan juga akan semakin besar.



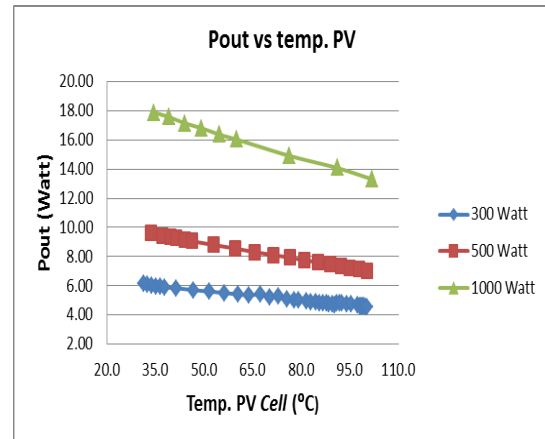
Gambar 7. Hubungan Temperatur terhadap *Open-Circuit Voltage*

Dari gambar 7 diatas dapat dilihat bahwa temperatur sangat berpengaruh terhadap *Open-Circuit Voltage* (V_{oc}). Dimana kenaikan temperatur permukaan panel surya mengakibatkan kecenderungan penurunan terhadap Tegangan (V_{oc}). Hal ini disebabkan karena peningkatan suhu dapat menurunkan *band gap* semikonduktor dan mengakibatkan tegangan menurun.

Gambar 7 terlihat pula bahwa pada lampu dengan daya 1000 Watt memiliki tegangan yang paling besar yaitu sekitar 20,10 Volt pada suhu panel 34,5°C dan turun menjadi 15,66 pada temperatur 101,9°C. Sedangkan pada lampu yang 500 watt tegangan dari 19,87 Volt pada suhu 33,6°C turun menjadi 15,25 Volt pada suhu 103°C. Dan untuk lampu dengan daya 300 watt dihasilkan tegangan sebesar 19,51 Volt, pada suhu 31,3°C turun menjadi 14,87 Volt pada temperatur 102°C.

Dari grafik diatas juga memperlihatkan bahwa penurunan tegangan yang terjadi pada ketiga variasi daya lampu tersebut tidak begitu berbeda secara signifikan antara daya yang 1000 Watt, 500 Watt maupun yang 300 Watt. Sebuah panel surya dapat beroperasi secara maksimum jika temperatur yang diterimanya tetap normal pada temperature 25°C. Kenaikan temperatur lebih tinggi dari temperatur normal pada panel surya akan

melemahkan tegangan (V_{oc}) yang dihasilkan. Setiap kenaikan temperatur panel surya 1°C (dari 25°C) akan menyebabkan berkurang 0,5% pada total tenaga (daya) yang dihasilkan.



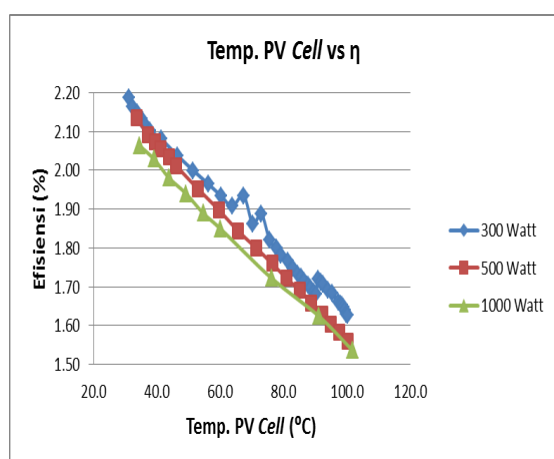
Gambar 8. Hubungan Temperatur terhadap Daya Output PV Cell

Dari grafik tersebut diatas dapat dilihat bahwa semakin meningkat temperatur panel maka daya keluaran yang terjadi akan semakin menurun. Penurunan daya tersebut disebabkan karena *Open-Circuit Voltage* (V_{oc}) menurun seiring dengan meningkatnya suhu permukaan panel surya dan arus cenderung konstan seiring dengan meningkatnya suhu panel. Daya *output* adalah hasil kali dari tegangan, arus dan *fill factor*. Jadi, jika tegangan *output* menurun maka *fill factor* juga ikut menurun sehingga secara otomatis daya *output* juga menurun.

Dari gambar 8 juga terlihat bahwa daya output terbesar berada pada lampu dengan daya 1000 Watt yaitu sebesar 17,88 Watt dibandingkan dengan daya yang 500 dan 300 Watt yaitu hanya 9,62 dan 6,14 Watt. Hal ini disebabkan oleh tegangan dan arus yang dihasilkan dari setiap lampu berbeda – beda tergantung dari daya lampu tersebut. Semakin besar daya lampu maka tegangan dan arus yang

dihasilkan dari panel surya akan semakin besar. Jika tegangan sebuah lampu bertambah maka secara otomatis *Fill Faktor* juga ikut bertambah. Karakteristik I-V sel surya berubah sepanjang perubahan besar iradiasi cahaya yang mengenai permukaan modul surya. Semakin besar iradiasi yang terkena modul, semakin besar pula daya *Output* yang dihasilkan.

Menurut Katherine (2010) menyatakan bahwa daya *Output* untuk *Cell* CIS sehubungan dengan suhu tidak terbentuk garis lurus dan daya cenderung turun seiring meningkat suhu panel.



Gambar 9. Hubungan antara Pengaruh Temperatur terhadap Efisiensi Panel surya

Dari grafik hubungan temperatur terhadap efisiensi tersebut diatas dapat dilihat bahwa untuk lampu dengan daya 300 Watt memiliki efisiensi tertinggi yaitu sebesar 2,19% pada temperatur permukaan panel 31,3⁰C. Seiring dengan meningkatnya temperatur akibat radiasi cahaya lampu maka efisiensi yang dihasilkanpun semakin menurun hingga 1,63% pada temperatur 100,2⁰C. Untuk lampu yang 500 Watt efisiensi maksimum yang didapatkan adalah sebesar 2,13% pada temperatur permukaan panel sebesar 33,6⁰C. Seiring dengan berjalanya waktu dan bertambahnya temperatur efisiensi pada lampu 500 Watt selalu mengalami penurunan hingga 1,56% pada temperatur maksimum panel 100,3⁰C.

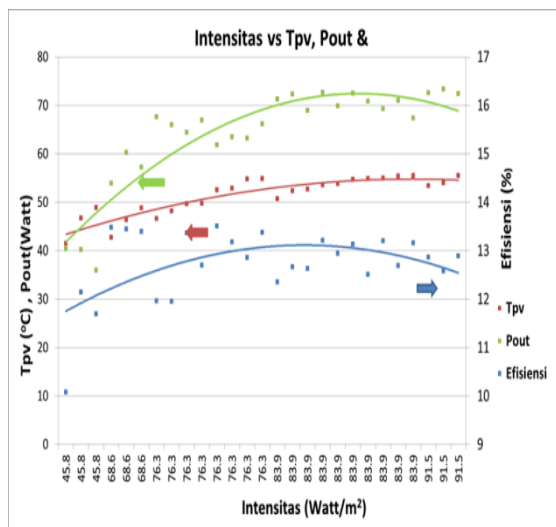
Sedangkan untuk lampu yang 1000 Watt efisiensi terbesar hanya mencapai 2,06% dengan temperatur panel sebesar 34,5⁰C. Pada lampu yang 1000 Watt juga mengalami hal yang sama, dimana nilai efisiensi selalu mengalami penurunan setiap kenaikan temperatur. Nilai efisiensi yang didapatkan pada temperatur panel mencapai 101,9⁰C hanya 1,54%.

Pengamatan dari ketiga jenis lampu diatas menunjukkan bahwa kenaikan temperatur mengakibatkan terjadinya penurunan terhadap efisiensi. Hal ini disebabkan karena temperatur panel surya sangat berpengaruh terhadap tegangan *output* (*Voc*), dimana semakin meningkat temperatur permukaan panel maka tegangan *output* yang dihasilkan akan semakin menurun, begitupun sebaliknya semakin kecil tegangan *output* maka daya kelurannya juga akan menurun, sehingga apabila daya keluaran menurun secara otomatis efisiensinyapun akan ikut menurun. Dimana efisiensi panel surya dihitung berdasarkan berapa daya keluaran dibandingkan dengan daya yang masuk ke panel surya.

Dari gambar di atas juga dapat dilihat bahwa lampu dengan daya 300 dan 500 Watt memiliki nilai efisiensi yang lebih baik dibandingkan dengan daya lampu yang 1000 Watt. Hal ini disebabkan karena lampu yang 1000 Watt memiliki peningkatan nilai intensitas yang sangat signifikan. Dimana intensitas berbanding lurus terhadap suhu yang diterima oleh panel surya sehingga semakin besar intensitas maka semakin banyak panas yang terperangkap didalam ruangan penutup modul surya. Hal ini sesuai dengan pernyataan Satwiko (2010) dalam penelitiannya menyatakan bahwa efisiensi modul surya semakin berkurang dengan bertambahnya intensitas cahaya yang digunakan, itu disebabkan karena semakin panasnya ruang kaca pada modul surya akibat penggunaan intensitas yang semakin besar. Lampu halogen yang digunakan memiliki suhu yang tinggi sehingga semakin besar intensitas yang digunakan semakin tinggi pula suhunya dan itu menyebabkan modul surya

menjadi panas sehingga menurunkan kinerjanya. Selain itu, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu 100 °C dari ketiga jenis lampu tersebut berbeda – beda. Dimana pada lampu yang 300 Watt membutuhkan waktu yang cukup lama yaitu sekitar 140 menit untuk mencapai suhu permukaan panel 100,2 °C, sedangkan untuk lampu yang 500 dan 1000 Watt hanya membutuhkan waktu 42 dan 15 menit untuk mencapai suhu permukaan panel yang sama.

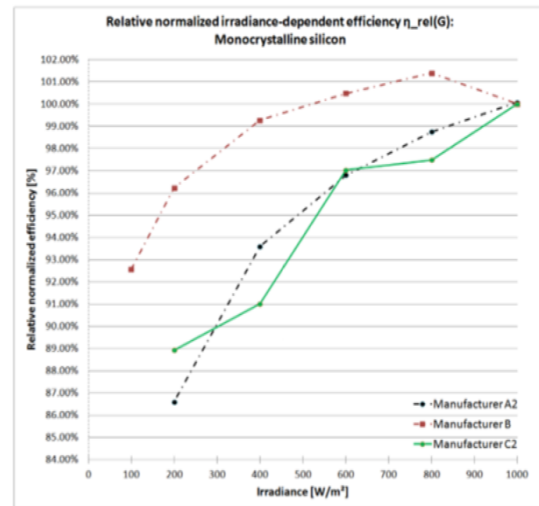
Berdasarkan dari gambar 4.8. diatas terlihat bahwa pengujian dengan lampu 300 Watt efisiensinya lebih tinggi dibandingkan dengan lampu 500 dan 1000 Watt pada suhu permukaan panel yang cenderung sama dan mengalami penurunan efisiensi seiring dengan meningkatnya intensitas seperti yang terlihat pada gambar berikut.



Gambar 10. Grafik Perbandingan Intensitas Terhadap T_{PV}, P_{out} & Efisiensi

Gambar diatas merupakan grafik perbandingan intensitas terhadap T_{PV}, P_{out} dan efisiensi. Nilai dari grafik tersebut didapatkan pada pengujian sinar matahari alami dan menggunakan dua buah kipas angin untuk mendinginkan permukaan panel agar temperatur panel tetap konstan. grafik diatas terlihat bahwa pada bagian kiri garis merah pada intensitas 450 sampai dengan 830 W/m² daya keluaran dan efisiensi yang dihasilkan dari panel surya selalu mengalami peningkatan

seiring dengan meningkatnya intensitas. sedangkan pada bagian sebelah kanan garis merah terlihat bahwa pada intensitas 830 sampai dengan 910 W/m² efisiensinya mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya intensitas pada suhu permukaan panel yang cenderung konstan.



Gambar 11. Grafik perbandingan intensitas terhadap efisiensi normal relatif (Herteleer, 2011)

Gambar 11 diatas merupakan grafik hasil penelitian yang dilakukan oleh Herteller (2011) mengenai perbandingan intensitas terhadap efisiensi normal relatif panel surya tipe *monocrystalline silicon* dengan tiga jenis pabrikan yang berbeda. Grafik tersebut terlihat bahwa terdapat dua jenis pabrikan yang efisiensinya meningkat seiring dengan bertambahnya intensitas dan ada satu pabrikan pada intensitas 100 W/m² sampai dengan 800 W/m² intensitasnya cenderung mengalami peningkatan. Akan tetapi, pada saat intensitas diatas 800 W/m² efisiensi panel surya mengalami sedikit penurunan. Hal ini menunjukkan bahwa dari jenis pabrikan yang berbeda dengan tipe panel surya yang sama terdapat perbedaan karakteristik antara pabrikan yang satu dengan yang lainnya. Seperti yang terlihat pada gambar 11 dimana, efisiensi atau kinerja normal panel surya tipe *multicrystalline silicon* berada pada intensitas 427 W/m² sampai dengan 686

W/m² dan efisiensi panel menurun ketika intensitas mencapai 1000 W/m².

SIMPULAN

Berdasarkan dari hasil dan pembahasan, dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu semakin besar intensitas yang dipancarkan dari lampu kepanel surya, maka unjuk kerja modul PV *Cell* semakin menurun. Temperatur permukaan panel surya sangat berpengaruh terhadap efisiensi yang dihasilkan dari PV *Cell*. Dimana semakin rendah suhu permukaan panel maka efisiensi modul PV *Cell* akan semakin meningkat, begitupun sebaliknya semakin tinggi suhu permukaan panel maka efisiensi PV *Cell* semakin menurun. Perlu diteliti lanjut peningkatan efisiensi modul surya dengan tambahan pendinginan air atau udara pada permukaan bawah permukaan sel surya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada manajemen dan staf Laboratorium Teknik Pendingin Jurusan Teknik Mesin Universitas Tadulako atas segala fasilitas penelitian yang telah disediakan selama terlaksananya penelitian ini.

DAFTAR RUJUKAN

- Herteleer, B. 2011, "Quantifying Low-Light Behaviour Of Photovoltaic Modules By Identifying Their Irradiance-Dependent Efficiency From Data Sheets" Master's thesis, Catholic University College Ghent, Belgium.
- Quaschnig, Volker, 2005, *Understanding Renewable Energy Systems*, 1 edition, Earthscan London.
- Strong, S.J. ,1987, *The Solar Electric House. A Design Manual for Home-Scale Photovoltaic Power Systems*, Inc., of Harvard, Massachusetts.
- Watjanatepin.N et, al. 2010, "The Design and Development of Photovoltaic Electrical Generating System Experimental Set", Tech Connect World Conference and Expo 2010. Hal. 21-25. Anaheim California, USA.
- Young, H.D dan Freedman, R.A. (1999). *Sears and Zemansky's University Physics with Modern Physics*. New York: Addison-Wesley Publishing Company.