

KARAKTERISTIK PANEL SURYA DENGAN VARIASI INTENSITAS RADIASI DAN TEMPERATUR PERMUKAAN PANEL

Fransiskus A. Widiharsa*

Abstraksi

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik sebuah panel surya dengan variasi intensitas radiasi dan temperatur permukaan panel. Panel surya terdiri dari 33 sel surya yang berukuran $10 \times 10 \text{ cm}^2$ sehingga luasan total panel surya $30 \times 110 \text{ cm}^2$. Karakteristik dilihat sebagai hubungan antara parameter-parameter seperti tegangan, arus, daya dan efisiensi dengan intensitas radiasi dan temperatur yang berbeda. Hasil menunjukkan bahwa intensitas yang semakin tinggi akan memberikan tegangan, arus dan daya yang semakin besar. Daya maksimum terdapat didaerah lengkungan kurva karena daya adalah hasil kali tegangan dan arus. Daya maksimum sebesar 31,59 Watt terjadi pada intensitas tertinggi yaitu sebesar 1000 W/m^2 . Penurunan daya juga diikuti dengan penurunan efisiensi maksimum untuk temperatur yang semakin tinggi. Walaupun secara keseluruhan efisiensi masih dipengaruhi oleh variabel-variabel yang lain seperti kerugian refleksi, tahanan dan cahaya baik yang tak dapat terserap maupun yang terlampaui kuat.

Daya sel surya berkurang seiring dengan naiknya temperatur. Tegangan hubung terbuka Voc berkurang sejalan dengan kenaikan temperatur. Panel surya dengan tegangan 18 Volt pada temperatur 27°C akan berkurang sampai 17,23 V pada 48°C . Terjadi reduksi tegangan hubung terbuka sebesar 0,0323 V untuk tiap derajat kenaikan temperatur. Sebaliknya arus hubung singkat semakin tinggi dengan bertambahnya temperatur sebesar $0,0022 \text{ A/}^\circ\text{C}$. Arus hubung singkat terbesar 2,669 A terjadi pada temperatur tertinggi 48°C .

Besarnya daya maksimum yang dapat dihasilkan dari suatu panel dinyatakan oleh suatu nilai yaitu *fill factor*, yang diperoleh sebesar 0,659.

Kata-kata kunci : Panel surya, intensitas, temperatur, arus listrik, tegangan listrik.

PENDAHULUAN

Sel surya merupakan suatu peralatan yang mengubah cahaya matahari menjadi listrik, saat ini sudah demikian populer dan banyak digunakan, misalnya untuk penerangan, radio pemancar, telekomunikasi, pada kendaraan, pompa, *refrigerator*, pesawat terbang ringan, satelit dan stasiun ruang angkasa. Tiap sel surya biasanya menghasilkan tegangan (*voltage*) sebesar 0,5 volt. Beberapa sel surya dapat dihubungkan secara seri maupun paralel untuk memperoleh arus dan voltase yang diharapkan, dan diproteksi dengan kaca sehingga menjadi panel atau modul.

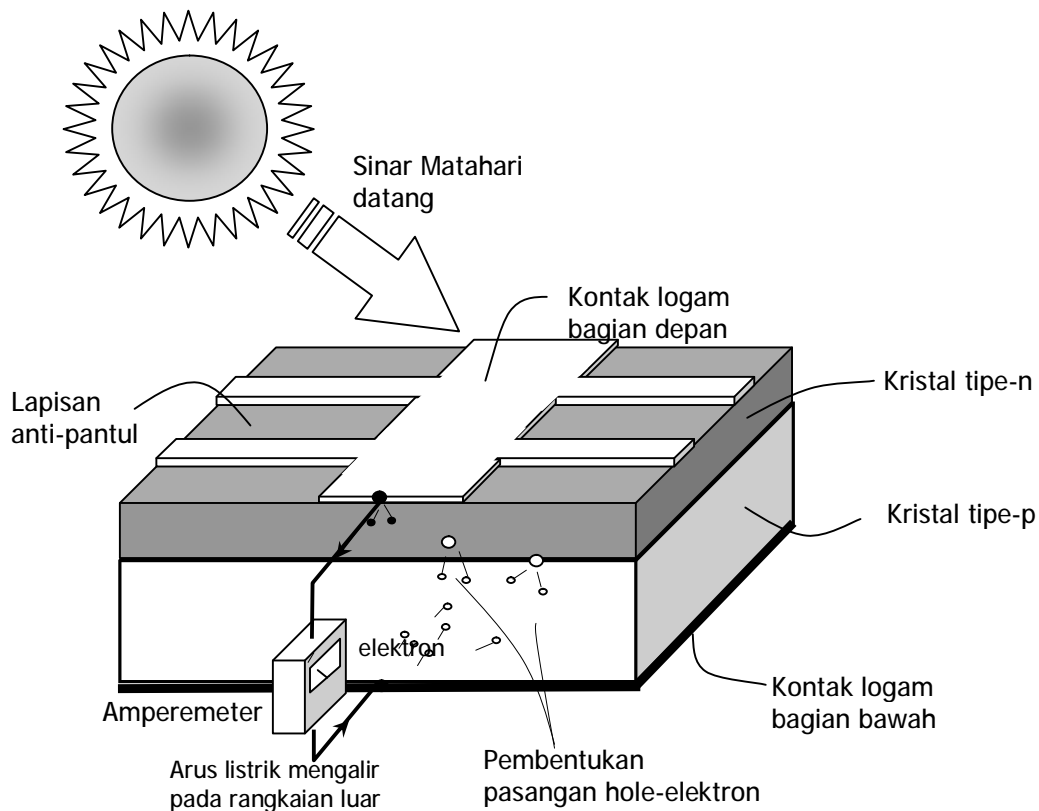
Hubungan antara arus dan tegangan listrik (I-V) suatu modul *fotovoltaik* tergantung dari intensitas radiasi dan temperatur. Sejalan dengan peningkatan intensitas radiasi matahari maka arus juga bertambah secara proporsional. Sebaliknya apabila temperatur sel surya meningkatkan arus akan meningkat tetapi tegangan akan menurun sehingga mengakibatkan penurunan daya. Kemampuan sel surya biasanya distandarkan pada kondisi temperatur kamar atau ruang (25°C). Pada penggunaannya, terutama di daerah tropis temperatur permukaan sel surya dapat mencapai 45°C dan hal ini akan dapat menyebabkan terjadinya perubahan karakteristik sel surya tersebut. Seberapa jauh pengaruh variasi intensitas radiasi dan temperatur permukaan sel surya terhadap kemampuan sel surya menghasilkan listrik akan dilihat pada hasil penelitian dan bahasan berikut ini.

* Dosen Jurusan Mesin Unmer Malang

KAJIAN PUSTAKA

Sel Surya

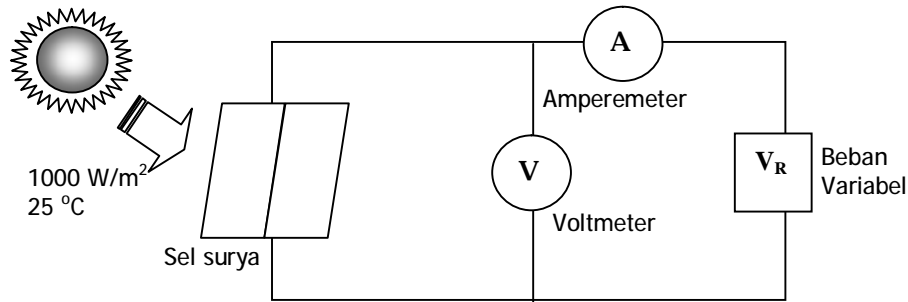
Suatu fenomena fisika yang menyebabkan terjadinya perubahan energi dari radiasi sinar elektromagnetik menjadi energi listrik disebut sebagai efek *fotovoltaik*. Efek ini pertama kali ditemukan oleh fisikawan Perancis yang bernama Edmond Becquerel pada tahun 1839. Sel surya atau *solar cell* adalah sebuah elemen aktif yang memanfaatkan efek *fotovoltaik* tersebut untuk merubah energi surya menjadi energi listrik. Elemen aktif yang dimaksud di sini adalah bahan semikonduktor. Ketika cahaya surya mengenai permukaan aktif sel surya, foton yang terbentuk dalam cahaya menyalurkan energinya pada elektron valensi yang terdapat bahan semikonduktor, sebagai reaksi terhadap intensitas dan distribusi spektral cahaya. Pada saat energi semakin besar sampai pada level tertentu dapat terjadi beda potensial yang memungkinkan terjadinya arus listrik.



Gambar 1. Efek Fotovoltaik

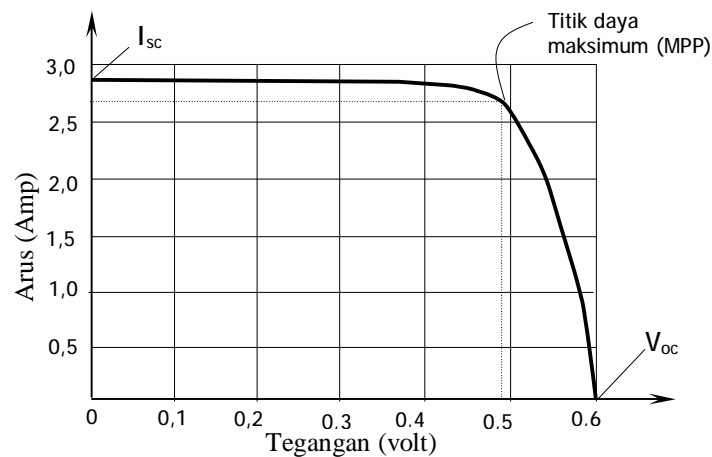
Karakteristik Sel Surya

Sel surya dalam keadaan tanpa penyinaran mempunyai karakteristik yang mirip dengan dioda. Ketika sel surya mendapat sinar, akan mengalir arus konstan yang arahnya berlawanan dengan arus dioda. Untuk memperoleh karakteristik tegangan arus sel surya maka sel surya yang akan dites harus dihubungkan dengan beban listrik yang dapat divariasi. Selain itu alat-alat ukur tegangan dan arus harus dipasang sebagaimana mestinya. Pengetesan sel surya ini harus dalam suatu keadaan standar yaitu kuat penyinaran cahaya 1000 W.m^2 dan pada suhu $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Gambar rangkain pengetesan dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 2. Rangkaian Pengujian Sel Surya

Saat beban sama dengan nol atau dengan kata lain beban dilepas maka dalam keadaan ini akan diperoleh tegangan beban nol V_{oc} (*Open Circuit Voltage*) yang merupakan tegangan maksimum sel surya karena $I = 0$. Saat beban diperbesar terus sampai mencapai keadaan hubung singkat maka akan diperoleh tegangan sel surya sama dengan nol dan arus akan maksimum I_{sc} (*Short Circuit Current*). Kemudian apabila beban divariasikan maka akan diperoleh arus dan tegangan yang bervariasi pula. Kombinasi arus dan tegangan tersebut dapat digambarkan sebagai sebuah grafik seperti pada gambar berikut yang dikenal grafik karakteristik I-V.



Gambar 3. Grafik Karakteristik I-V Sel Surya

Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa sel menghasilkan daya yang maksimum pada sebuah titik dari grafik tersebut. Dalam keadaan beban nol dan hubung singkat, daya yang dihasilkan sebuah sel surya sama dengan nol. Pada gambar tersebut terlihat titik daya maksimum (*Maximum Point Power / MPP*) dihasilkan dari tegangan V_{max} dan arus I_{max} yang bersesuaian sebesar

$$P_{max} = V_{max} \cdot I_{max} \tag{1}$$

Pada prakteknya selalu diusahakan agar pemakaian beban berpatokan dari titik MPP ini. Rasio antara hasil kali arus I_{max} dengan V_{max} pada titik daya maksimum (MPP) dengan hasil kali arus hubung singkat I_{sc} dengan tegangan hubung buka V_{oc} disebut dengan *fill factor*.

$$FF = \frac{V_{\max} \cdot I_{\max}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \quad 2)$$

Pada level radiasi matahari yang lebih rendah maka luasan daerah di bawah grafik tersebut akan berkurang dan MPP akan bergeser ke kiri, namun bentuk grafik I-V secara umum masih tetap sama. Saat sel-sel surya menghasilkan daya listrik pada keadaan sebenarnya, intensitas radiasi matahari bervariasi tiap waktu, sehingga untuk menghasilkan daya yang maksimum diperlukan sebuah peralatan elektronis yang disebut *Maximum Power Tracking*. Peralatan elektronis tersebut berfungsi secara otomatis memvariasikan beban jika dilihat dari sel surya sehingga diperoleh transfer energi yang maksimal karena sel surya bekerja pada daerah *Maximum Power Point / MPP*. Sel surya mempunyai hubung buka V_{oc} sekitar 0,5-0,6 Volt dan arus hubung singkat I_{sc} 3 Amp untuk luas permukaan 100 cm².

Selain *fill factor*, daya pada sel surya juga dibatasi oleh beberapa kerugian seperti kerugian refleksi, cahaya tak terabsorpsi, cahaya yang terlampaui kuat, tahanan seri / paralel dan juga temperatur. Hal tersebut akan berpengaruh pada unjuk kerja sel surya yang dinyatakan efisiensi. Efisiensi sel surya adalah adalah perbandingan antara daya output dan inputnya dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$Efisiensi = \frac{V \cdot I}{G \cdot A} \quad 3)$$

Daya input adalah intensitas radiasi / penyinaran $G \text{ W/m}^2$ yang diterima oleh luasan permukaan $A \text{ m}^2$ sel surya. Daya output adalah hasil kali dari besaran tegangan V Volt dan arus I Amp yang dihasilkan oleh sel surya.

METODOLOGI

Pengujian karakteristik dilakukan dengan skema seperti pada gambar 3, dengan spesifikasi panel surya yang digunakan adalah sebagai berikut :

| | |
|-------------------------|---------------------|
| 1. Daya nominal | 48 W |
| 2. Arus nominal | 3,02 A |
| 3. Tegangan nominal | 15,9 V |
| 4. Arus Hubung Singkat | 3,4 A |
| 5. Tegangan Hubung Buka | 19,8 V |
| 6. Berat | 5,2 kg |
| 7. Jumlah sel | 33 |
| 8. Luasan | 0,33 m ² |
| 9. Pabrik | Siemen |

Dengan variasi beban V_R pada temperatur lingkungan (27 °C), pada beberapa intensitas radiasi (500, 750 dan 1000 W/m²) sehingga diperoleh tegangan V dan arus I . Selanjutnya dengan menggunakan persamaan 1, 2, dan 3 akan didapatkan daya P , *fill factor* dan efisiensi. Dengan cara

yang sama dilakukan pada intensitas 1000 W/m^2 dengan variasi temperatur (20, 27, 40 dan $48 \text{ }^\circ\text{C}$). Hasil dari pengujian iniditampilkan pada table dan grafik berikut.

Tabel 1. Hasil Pengujian Dengan Beberapa Intensitas

Temperatur = $27 \text{ }^\circ\text{C}$ Intensitas= 1000W/m^2

| No | Tegangan (Volt) | Arus (Ampere) | Power (W) | Efisiensi (%) |
|----|-----------------|---------------|-----------|---------------|
| 1 | 0.44 | 2.690 | 1.176 | 0.35 |
| 2 | 4.00 | 2.675 | 10.7 | 3.21 |
| 3 | 6.00 | 2.670 | 16.02 | 4.81 |
| 4 | 8.00 | 2.640 | 21.12 | 6.34 |
| 5 | 11.00 | 2.580 | 28.38 | 8.51 |
| 6 | 12.00 | 2.540 | 30.48 | 9.14 |
| 7 | 13.00 | 2.430 | 31.59 | 9.48 |
| 8 | 14.00 | 2.210 | 30.94 | 9.28 |
| 9 | 16.00 | 1.160 | 18.56 | 5.57 |
| 10 | 18.00 | 0.030 | 0.54 | 0.16 |

Temperatur = $27 \text{ }^\circ\text{C}$ Intensitas = 750W/m^2

| No | Tegangan (Volt) | Arus (Ampere) | Power (W) | Efisiensi (%) |
|----|-----------------|---------------|-----------|---------------|
| 1 | 0.44 | 2.103 | 0.919 | 0.37 |
| 2 | 4.00 | 2.098 | 8.392 | 3.36 |
| 3 | 6.00 | 2.055 | 12.33 | 4.93 |
| 4 | 8.00 | 2.030 | 16.24 | 6.50 |
| 5 | 11.00 | 1.915 | 21.065 | 8.43 |
| 6 | 12.00 | 1.860 | 22.32 | 8.93 |
| 7 | 12.95 | 1.760 | 22.792 | 9.12 |
| 8 | 14.00 | 1.520 | 21.28 | 8.51 |
| 9 | 16.00 | 0.750 | 12 | 4.80 |
| 10 | 17.72 | 0.023 | 0.40756 | 0.16 |

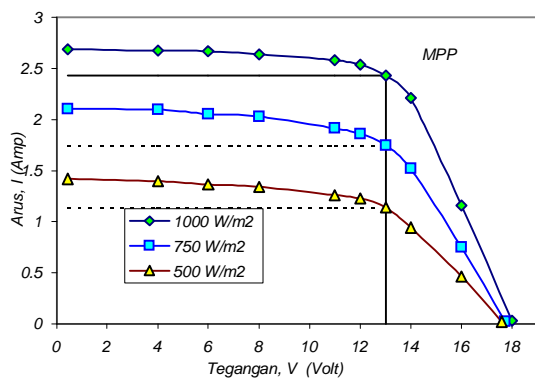
Temperatur = $27 \text{ }^\circ\text{C}$ Intensitas= 500W/m^2

| No | Tegangan (Volt) | Arus (Ampere) | Power (W) | Efisiensi (%) |
|----|-----------------|---------------|-----------|---------------|
| 1 | 0.44 | 1.420 | 0.621 | 0.37 |
| 2 | 4.00 | 1.395 | 5.58 | 3.35 |
| 3 | 6.00 | 1.365 | 8.19 | 4.91 |
| 4 | 8.00 | 1.340 | 10.72 | 6.43 |
| 5 | 11.00 | 1.260 | 13.86 | 8.32 |
| 6 | 12.00 | 1.230 | 14.76 | 8.86 |
| 7 | 12.88 | 1.150 | 14.812 | 8.89 |
| 8 | 14.00 | 0.940 | 13.16 | 7.90 |
| 9 | 16.00 | 0.460 | 7.36 | 4.42 |
| 10 | 17.60 | 0.021 | 0.3696 | 0.22 |

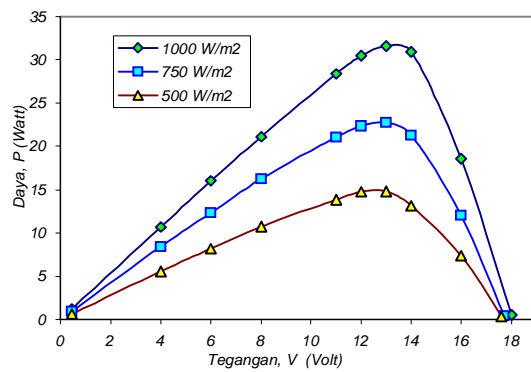
Tabel 2. Hasil Pengujian Dengan Beberapa Temperatur Permukaan Panel Surya

| Temperatur = 27 °C | | | | | Temperatur = 40 °C | | | | |
|--------------------|-----------------|---------------|--------------|---------------|--------------------|-----------------|---------------|--------------|---------------|
| No | Tegangan (Volt) | Arus (Ampere) | Power (W) | Efisiensi (%) | No | Tegangan (Volt) | Arus (Ampere) | Power (W) | Efisiensi (%) |
| 1 | 0.437 | 2.690 | 1.18 | 0.59 | 1 | 0.43 | 2.721 | 1.16 | 0.58 |
| 2 | 4 | 2.675 | 10.70 | 5.35 | 2 | 3.90 | 2.704 | 10.53 | 5.27 |
| 3 | 6 | 2.670 | 16.02 | 8.01 | 3 | 5.84 | 2.699 | 15.77 | 7.89 |
| 4 | 8 | 2.640 | 21.12 | 10.56 | 4 | 7.79 | 2.669 | 20.79 | 10.40 |
| 5 | 11 | 2.580 | 28.38 | 14.19 | 5 | 10.71 | 2.608 | 27.94 | 13.97 |
| 6 | 12 | 2.540 | 30.48 | 15.24 | 6 | 11.69 | 2.568 | 30.01 | 15.00 |
| 7 | 13 | 2.430 | 31.59 | 15.80 | 7 | 12.66 | 2.457 | 31.11 | 15.55 |
| 8 | 14 | 2.210 | 30.94 | 15.47 | 8 | 13.64 | 2.234 | 30.46 | 15.23 |
| 9 | 16 | 1.160 | 18.56 | 9.28 | 9 | 15.58 | 1.173 | 18.27 | 9.14 |
| 10 | 18 | 0.030 | 0.54 | 0.27 | 10 | 17.58 | 0.030 | 0.53 | 0.27 |
| Max | 18 | 2.690 | 31.59 | 15.80 | Max | 17.58 | 2.721 | 31.11 | 15.55 |

| Temperatur = 20 °C | | | | | Temperatur = 48 °C | | | | |
|--------------------|-----------------|---------------|--------------|---------------|--------------------|-----------------|---------------|--------------|---------------|
| No | Tegangan (Volt) | Arus (Ampere) | Power (W) | Efisiensi (%) | No | Tegangan (Volt) | Arus (Ampere) | Power (W) | Efisiensi (%) |
| 1 | 0.44 | 2.669 | 1.18 | 0.59 | 1 | 0.42 | 2.737 | 1.15 | 0.57 |
| 2 | 4.06 | 2.659 | 10.79 | 5.39 | 2 | 3.83 | 2.722 | 10.43 | 5.21 |
| 3 | 6.08 | 2.654 | 16.15 | 8.07 | 3 | 5.75 | 2.717 | 15.62 | 7.81 |
| 4 | 8.11 | 2.625 | 21.29 | 10.65 | 4 | 7.66 | 2.686 | 20.59 | 10.29 |
| 5 | 11.15 | 2.565 | 28.61 | 14.30 | 5 | 10.54 | 2.625 | 27.66 | 13.83 |
| 6 | 12.17 | 2.525 | 30.73 | 15.36 | 6 | 11.50 | 2.584 | 29.71 | 14.86 |
| 7 | 13.18 | 2.419 | 31.88 | 15.94 | 7 | 12.45 | 2.472 | 30.78 | 15.39 |
| 8 | 14.20 | 2.197 | 31.19 | 15.60 | 8 | 13.41 | 2.249 | 30.16 | 15.08 |
| 9 | 16.22 | 1.153 | 18.71 | 9.36 | 9 | 15.33 | 1.180 | 18.09 | 9.05 |
| 10 | 18.13 | 0.030 | 0.54 | 0.27 | 10 | 17.23 | 0.031 | 0.53 | 0.26 |
| Max | 18.13 | 2.669 | 31.88 | 15.94 | Max | 17.23 | 2.737 | 30.78 | 15.39 |



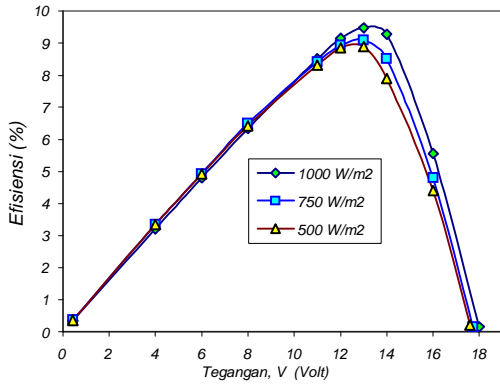
Gambar 4. Arus I Dan Tegangan V Dengan Variasi Intensitas



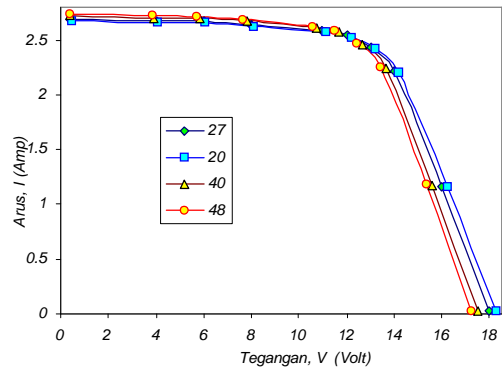
Gambar 5. Daya P Dan Tegangan V Dengan Variasi Intensitas

Tabel 3. Parameter Panel Surya Dengan Variasi Intensitas

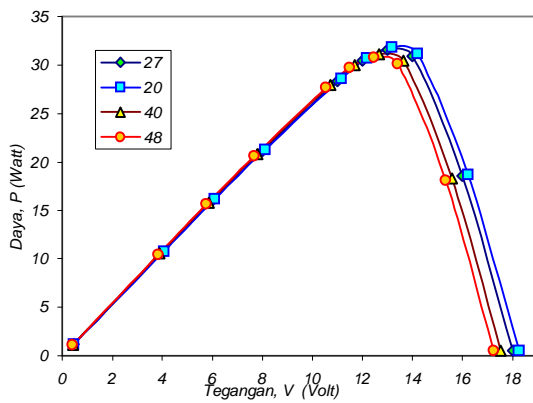
| Intensitas (W/m ²) | V _{oc} (Volt) | I _{sc} (Amp) | P _{max} (Watt) | Ef _{max} (%) | Fill Factor |
|--------------------------------|------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|-------------|
| 500 | 17.60 | 1.42 | 14.82 | 8.89 | 0.593 |
| 750 | 17.72 | 2.10 | 22.75 | 9.10 | 0.610 |
| 1000 | 18.00 | 2.69 | 31.59 | 9.48 | 0.652 |



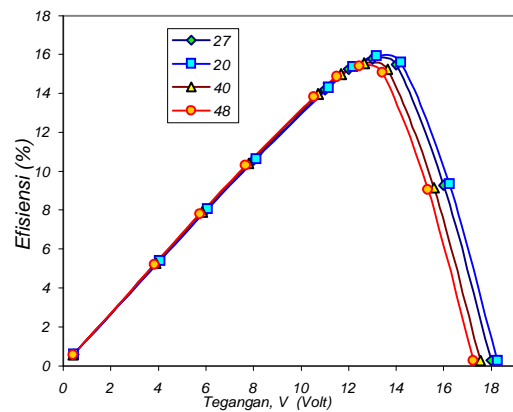
Gambar 6. Efisiensi Dan Tegangan V Dengan Variasi Intensitas



Gambar 7. Arus Dan Tegangan Dengan Variasi Temperatur



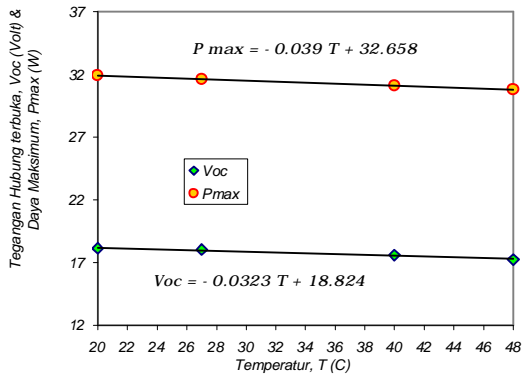
Gambar 8. Daya P Dan Tegangan V Dengan Variasi Temperatur



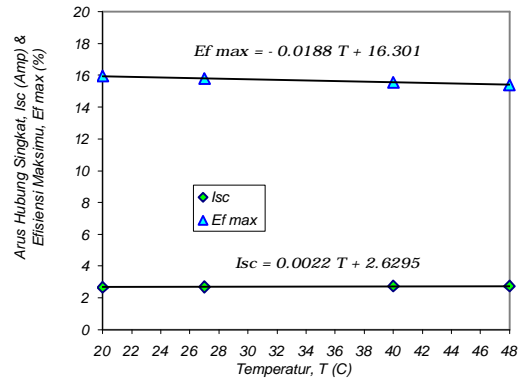
Gambar 9. Efisiensi Dan Tegangan V Dengan Variasi Temperatur

Tabel 4. Parameter-parameter panel surya dengan variasi temperatur

| Temperatur (°C) | V _{oc} (Volt) | I _{sc} (Amp) | P _{max} (Watt) | Ef _{max} (%) | Fill Factor |
|-----------------|------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|-------------|
| 20 | 18.13 | 2.669 | 31.88 | 15.94 | 0.65885 |
| 27 | 18 | 2.690 | 31.59 | 15.80 | 0.65242 |
| 40 | 17.58 | 2.721 | 31.11 | 15.55 | 0.65029 |
| 48 | 17.23 | 2.737 | 30.78 | 15.39 | 0.65268 |



Gambar 10. Tegangan Hubung Terbuka V_{oc} dan Daya Maksimum P_{Max} sebagai Fungsi Temperatur



Gambar 11. Tegangan Hubung Terbuka V_{oc} dan Daya Maksimum P_{Max} sebagai Fungsi Temperatur

Untuk melihat perubahan parameter-parameter seperti tegangan hubung terbuka V_{oc} , arus hubung singkat I_{sc} , daya maksimum P_{max} , dan efisiensi maksimum eff_{max} , terhadap peningkatan temperatur didekati menggunakan persamaan regresi linier, sehingga menjadi fungsi temperatur. Gradien dari parameter-parameter terhadap temperatur dinyatakan sebagai koefisien temperatur.

| Koefisien Temperatur | $\frac{\Delta V_{oc}}{\Delta T}$ | $\frac{\Delta I_{sc}}{\Delta T}$ | $\frac{\Delta P_{max}}{\Delta T}$ | $\frac{\Delta Eff_{max}}{\Delta T}$ |
|----------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| | | $-0,0323 \frac{V}{^{\circ}C}$ | $0,0022 \frac{A}{^{\circ}C}$ | $-0,039 \frac{W}{^{\circ}C}$ |

PEMBAHASAN

Kurva tegangan-arus (I-V) merupakan kurva karakteristik untuk beberapa intensitas (gambar 4.) dapat dilihat bahwa pada daerah lengkungan merupakan daerah **MPP** (gambar 5). Intensitas yang semakin tinggi akan memberikan tegangan, arus dan daya yang semakin besar. Daya maksimum terdapat didaerah lengkungan kurva karena daya adalah hasil kali tegangan dan arus. Besar luasan dibawah kurva adalah daya. Luasan yang terbesar adalah di titik **MPP** di lengkungan kurva I-V yang merupakan daya maksimum. Daya maksimum sebesar 31,59 Watt terjadi pada intensitas tertinggi yaitu sebesar 1000 W/m^2 . Titik ini merupakan titik yang paling sesuai untuk tegangan dan arus operasional panel surya. Walaupun arus dan tegangan pada titik ini bukan yang tertinggi tetapi memberikan daya yang maksimum. Sehingga disebut V_{max} dan I_{max} yang merupakan tegangan dan arus pada daya yang maksimum. Efisiensi pada titik ini juga merupakan efisiensi yang tertinggi dari panel surya (gambar 6), karena daya output pada titik ini adalah yang tertinggi dan daya inputnya konstan.

Pada kondisi temperatur yang bervariasi (20, 27, 40, 48 °C) dengan intensitas radiasi yang konstan 1000 W/m^2 (gambar 7, 8 dan 9), terlihat bahwa daya sel surya berkurang seiring dengan naiknya temperatur. Tegangan hubung terbuka V_{oc} berkurang sejalan dengan kenaikan temperatur. Panel surya dengan tegangan 18 Volt pada temperatur 27 °C berkurang sampai

17,23 V pada 48 °C. (gambar 10 dan table 4). Ini adalah suatu reduksi tegangan hubung terbuka sebesar 0,0323 V untuk tiap derajat kenaikan temperatur. Penurunan tegangan ini ditunjukkan oleh sebagai fungsi temperatur dapat dinyatakan sebagai persamaan $V_{oc} = -0,0323 T + 18,13 V$. Gradien negatif tegangan terhadap temperatur dalam persamaan linier tersebut adalah koefisien temperatur yang merupakan besarnya penurunan V_{oc} .

Sebaliknya arus hubung singkat I_{sc} bertambah sesuai dengan bertambahnya temperatur sebesar 0,0022 A/°C. Panel surya dengan arus hubung singkat sebesar 2.669 A pada temperatur 20 °C mencapai 2,737 A pada temperatur 48 °C (gambar 7, 11 dan tabel 2). Pertambahan arus ini ditunjukkan oleh fungsi temperatur yang dapat dinyatakan sebagai persamaan $I_{sc} = 0,0022T + 2,669A$. Gradien positif arus terhadap temperatur dalam persamaan linier tersebut adalah koefisien temperatur yang merupakan besarnya peningkatan arus I_{sc} terhadap peningkatan temperatur.

Dari gambar 10 dan 11. dan kedua persamaan linier yang ditunjukkan oleh koefisien temperatur untuk tegangan dan arus, terlihat jelas bahwa penurunan tegangan adalah lebih besar dari penambahan arus yang mengakibatkan secara keseluruhan penurunan daya sel surya (gambar 8). Penurunan daya juga diikuti dengan penurunan efisiensi maksimum untuk temperatur yang semakin tinggi. Walaupun secara keseluruhan efisiensi masih dipengaruhi oleh variabel-variabel yang lain seperti kerugian refleksi, tahanan dan cahaya baik yang tak dapat terserap maupun yang terlampaui kuat.

Besarnya daya maksimum yang dapat dihasilkan dari suatu panel dinyatakan oleh suatu nilai yaitu **Fill Factor** yang merupakan perbandingan daya maksimum dengan hasil perkalian antara V_{oc} dan I_{sc} . Terjadi penurunan nilai Fill Factor sejalan dengan peningkatan temperatur namun penurunan tersebut tidak signifikan sehingga dapat dikatakan nilai fill factor cenderung konstan untuk temperatur yang meningkat (tabel 2). Fill factor akan semakin tinggi sejalan dengan peningkatan intensitas radiasi (tabel 1).

SIMPULAN

Dari bahasan diatas dapat dilihat bahwa intensitas dan temperatur permukaan panel surya sangat mempengaruhi karakteristik panel surya sebagai berikut :

1. Intensitas radiasi yang semakin tinggi akan memberikan peningkatan tegangan, arus dan daya. Nilai tertinggi untuk tegangan 18 V, arus 2,69 A dan daya 31,59 W terjadi pada intensitas terbesar 1000 W/m².
2. Peningkatan temperatur panel akan memberikan peningkatan arus hubung singkat I_{sc} 0,0022 A/°C, penurunan tegangan hubung terbuka V_{oc} 0,0323 V/°C, penurunan daya maksimum P_{max} 0,039 W/°C dan penurunan efisiensi maksimum sebesar 0,00883 %/°C.

3. Daya maksimum sebesar 31,88 Watt terjadi pada intensitas tertinggi yaitu sebesar 1000 W/m² dan temperatur permukaan panel surya terendah 20°C, dan *fill factor* panel surya pada pengujian ini diperoleh sebesar 0,659
4. Efisiensi tertinggi dari panel surya pada pengujian ini sebesar 15,94 % terjadi intensitas yang tertinggi 1000 W/m² dan temperatur permukaan panel terendah 20 °C.

Panel surya tidak mampu bekerja sesuai dengan fungsinya sebagai suatu unit untuk merubah sinar matahari menjadi listrik untuk temperatur yang tinggi. Semakin rendah temperatur permukaan panel surya maka semakin baik unjuk kerjanya. Untuk itu perlu dipertimbangkan kondisi lingkungan ataupun usaha untuk menjaga agar temperatur permukaan sel surya agar tidak meningkat, misalnya dengan memanfaatkan hembusan udara dingin pada permukaannya atau penggabungan dengan aplikasi lain yang dapat memanfaatkan panas dari permukaan sel surya.

DAFTAR PUSTAKA

- Boyle, Godfrey, 1996, *Renewable Energy, Power for a Sustainable Future*, Oxford University Press with Open University, UK.
- Derrick, Anthony. Catherine Francis, Varis Bokalders, 1991, *Solar Photovoltaic Products, A Guide for Development Workers*, Intermediate Technology Publications with The Swedish Missionary Council and Stockholm Environment Institute.
- Derrick, Anthony, 1993, *A Market Overview of PV in Europe*, James and James Science Publisher, London.
- Lorenzo, Eduardo, 1994, *Solar Electricity, Engineering of Photovoltaics Systems*, Institute of Solar Energy, Polytechnic University of Madrid.
- Wade, Herbert A., 1993, *Solar Photovoltaics For Health Workers*, Asian Institute of Technology, Energy Technology Program, Bangkok, Thailand.
- Widiharsa, Fransiskus A., 1997, *Implementasi dan Aplikasi Fotovoltaik*, Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Universitas Merdeka Malang No. 36.
- Widiharsa, Fransiskus A., 1997, *Pengaruh Temperatur Permukaan Sel Surya Terhadap Kemampuan Sel Surya Dalam Menghasilkan Listrik*, Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Universitas Merdeka Malang No. 36.