

EVALUASI NILAI TAHANAN INTERNAL MODUL PANEL FOTOVOLTAIK (PV) BERDASARKAN PEMODELAN KURVA I(V) NORMAL LIGHT DAN DARK CURRENT

Yanuar, Lazuardi Umar, Rahmondia N. Setiadi
Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau
Kampus Bina Widya, Jl. Prof. Dr. Muchtar Lutfi
Simpang Baru Pekanbaru 28293

Abstrak.

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi nilai tahanan internal seri dari modul fotovoltaik (PV) polikristal silikon Hooray MCP-2 berdasarkan pemodelan kurva arus dan tegangan I(V). Penentuan tahanan internal modul fotovoltaik (solar sel) dilakukan untuk mengetahui kualitas dan unjuk kerjanya, yang diukur pada dua kondisi yaitu pada kondisi normal light dan kondisi dark current. Arus dan tegangan diperoleh dengan memvariasikan tahanan beban pada penyinaran dan suhu konstan, yang menghasilkan kurva I(V) pada normal light dan dark current. Berdasarkan pemodelan kurva I(V) diperoleh parameter – parameter modul fotovoltaik yaitu I_{sc} , V_{oc} , I_{pmax} dan V_{pmax} dimana nilai gradiennya ditentukan berdasarkan persamaan Wagner yaitu sebesar -7.084 V/A (normal light) dan sebesar -21.618 V/A (dark current). Sementara arus dan tegangan maksimum diperoleh dari penentuan titik daya maksimum dari modul (Maximum Power Point). Hasil perhitungan tahanan internal seri pada modul fotovoltaik silikon polikristal Hooray MCP-2 diperoleh nilai sebesar 1.41 Ohm. Nilai ini menjadi nilai parameter unjuk kerja fotovoltaik dan akan mengalami perubahan selama pengoperasian.

Kata kunci: Modul fotovoltaik, tahanan internal, normal light, dark current, gradien

1. LATAR BELAKANG

Penggunaan energi listrik memberikan peranan yang sangat penting dalam kehidupan manusia dewasa ini. Hampir seluruh peralatan rumah tangga, industri, komunikasi dan sebagainya memanfaatkan energi listrik sehingga pekerjaan terasa lebih mudah dilakukan. Saat ini sumber energi yang bersumber dari minyak bumi kian hari persediaannya semakin menipis dan sulit diperoleh karena terbatas di dalam perut bumi. Sedangkan energi matahari adalah sumber energi yang sangat besar yang dapat dimanfaatkan dan dikembangkan. Proses untuk mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik dilakukan dengan menggunakan alat yang dinamakan sel surya (modul *photovoltaik*, PV) yang tersusun secara seri dan paralel dilapisi oleh bahan kedap air dan tahan terhadap perubahan cuaca.

Modul PV telah banyak dijual dipasaran dengan berbagai macam tipe, akan tetapi, modul ini umumnya belum diketahui kualitas dan unjuk kerjanya (*performance*) sesuai dengan nilai yang dibutuhkan. Upaya untuk mengidentifikasi kualitas dari PV adalah dengan cara mengukur arus dan tegangannya, dan menganalisa perubahan parameter penting yang mengakibatkan terjadinya depresiasi daya modul. Salah satu parameter penting dari modul PV adalah tahanan seri internal yang menggambarkan rugi-rugi internal (*internal losses*) dan rugi-rugi yang diakibatkan oleh kontak listrik antar sel surya [1-3]. Perubahan tahanan seri internal ini akan terjadi seiring dengan waktu sehingga perlu diamati dalam periode operasi tertentu.

Berbagai eksperimen telah dilakukan yang berkaitan dengan penentuan tahanan dalam pada

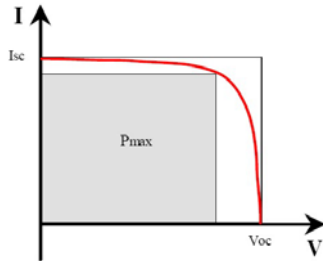
modul PV telah dilakukan oleh [4]. Eksperimen yang dilakukan dengan mengukur tahanan internal dan daya maksimum pada Standar Test Conditions (STC). Kemudian, beberapa metode mempergunakan algoritma matematika dalam mengekstraksi tahanan seri internal dari solar sel seperti dijelaskan pada [5–9]. Beberapa dari penelitian ini mengenalkan penggunaan metode pengukuran dinamis [7] atau *prosedur integrasi* [9] berdasarkan perhitungan komputasi pada daerah di dalam kurva arus dan tegangan I(V).

Pada penelitian ini, modul PV yang digunakan juga merupakan salah satu modul yang beredar di pasaran. Modul ini belum diketahui kualitas dan ketahanannya sehingga perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui berapa besar tahanan internal dari modul PV *Silikon Polikristal Hooray MCP-2*, karena tahanan internal dapat membatasi daya atau arus yang dihasilkan oleh modul PV. Untuk mengetahui tahanan seri internal dari modul telah dilakukan pengukuran kurva arus dan tegangan I(V) pada dua kondisi yaitu kondisi cahaya normal (*normal light*) dan kondisi tertutup screen (*dark current*). Dari pemodelan kedua kurva tersebut dan ekstraksi parameter maka akan diperoleh besarnya tahanan internal dari modul PV yang diuji.

Berdasarkan penentuan tahanan internal ini maka dapat diketahui karakteristik dari semua komponen dari sistem fotovoltaik, untuk mendeteksi berbagai masalah yang ditimbulkan dari modul dan untuk meningkatkan pemeliharaan serta perbaikan jika terjadinya cacat akibat kehilangan energi yang dihasilkan, yang dapat diamati dari perubahan tahanan seri internal R_s .

II. PEMODELAN KURVA I(V) SOLAR SEL

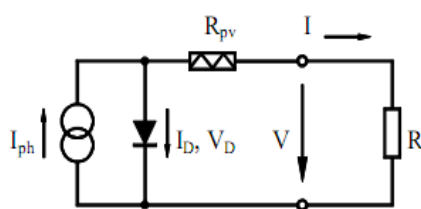
Prinsip kerja pada fotovoltaik sama dengan dioda *pn-junction* yang merupakan gabungan antara lapisan semikonduktor jenis *p* dan semikonduktor jenis *n*. Sifat listrik dari modul fotovoltaik biasanya diwakili dengan karakteristik arus dan tegangan yang digambarkan dalam bentuk kurva, dikenal dengan kurva *I-V*, lihat gambar 1 berikut ini [10].



Gambar 1. Kurva *I-V* yang menunjukkan hubungan antara arus dan tegangan

Kurva *I(V)* terdiri dari tiga parameter yaitu tegangan dan arus maksimum (V_{mp} dan I_{mp}), tegangan *open circuit* (V_{oc}), arus *short circuit* (I_{sc}). Jika rangkaian PV diberi beban, maka akan menghasilkan beda potensial di antara terminal dari sel PV tersebut. Perbedaan potensial menghasilkan arus yang berlawanan arah dengan arus foto (*photocurrent*) dan arus yang tersisa berkurang dari nilai rangkaian terbuka. Arus kebalikan ini biasanya disebut arus gelap (*dark current*), yang dianalogikan dengan arus I_{dark} .

Untuk mempermudah menentukan tahanan internal pada modul fotovoltaik dapat diwakili dengan diagram rangkaian ekuivalen sebagai berikut dimana sel dibentuk dari pembangkit energi dan beberapa beban:



Gambar 2. Rangkaian ekuivalen sel fotovoltaik efektif [11,12]

Rangkaian ekuivalen ini berisikan komponen fotoelektrik pengganti yang menyatakan tahanan positif dan negatif. Tahanan modul dinyatakan dalam R_{pv} dan berbeda dengan tahanan seri internal dari modul, R_s . Besar nilai karakteristik arus efektif dari sel PV adalah:

$$I = I_{ph} - I_0 \cdot e^{\left(\frac{v + I \cdot R_{pv}}{V_T}\right)} - 1 \quad (1)$$

dengan besar tegangan sel dinyatakan sebagai berikut,

$$V = V_T \ln\left(\frac{I_{ph} - I + I_0}{I_0}\right) - I \cdot R_{pv} \quad (2)$$

Parameter-parameter R_{pv} , V_T , I_0 , I_{ph} ditentukan dari hasil penentuan empat parameter lainnya, yang diperoleh dari pengukuran kurva *I(V)* yaitu I_{sc} , V_{oc} , I_{pmax} , V_{pmax} . Disamping empat parameter tersebut, ditentukan juga perubahan arus modul PV terhadap tegangan keluaran yang dinyatakan sebagai nilai kemiringan (*slope*) pada tegangan *open circuit* seperti berikut:

$$M = \frac{dV}{dI}(I = 0) \quad (3)$$

Dengan menggunakan sistem persamaan nonlinear simultan maka dapat ditentukan parameter R_{pv} , V_T , I_0 dan I_{ph} dari persamaan berikut:

$$R_{pv} = -M \frac{I_{sc}}{I_{pmax}} + \frac{V_{pmax}}{I_{pmax}} \left(1 - \frac{I_{sc}}{I_{pmax}}\right) \quad (4)$$

$$V_T = -(M + R_{pv}) \cdot I_{sc} \quad (5)$$

$$I_0 = I_{sc} \cdot \exp\left(\frac{-V_{oc}}{V_T}\right) \quad (6)$$

dan

$$I_{ph} = I_{sc} \quad (7)$$

Besarnya perbedaan arus yang diperlukan untuk menentukan tahanan seri internal ditentukan sesuai persamaan:

$$\Delta I = 0.5 \cdot I_{sc2} \quad (8)$$

Sehingga diperoleh tahanan internal modul fotovoltaik,

$$R_s = \frac{V_2 - V_1}{I_{sc1} - I_{sc2}} \quad (9)$$

dimana

$$V_1 = V(I_{sc1} - \Delta I, R_{pv1}, V_{T1}, I_{01}, I_{ph1})$$

$$V_2 = V(I_{sc2} - \Delta I, R_{pv2}, V_{T2}, I_{02}, I_{ph2})$$

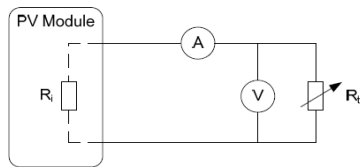
Berdasarkan persamaan (1) sampai dengan (9) dan pemodelan kurva *I(V)* dari modul PV pada kondisi normal light dan dark current maka nilai tahanan internal dari modul fotovoltaik dapat ditentukan.

III. EKSPERIMEN

Pengukuran modul PV untuk mendapatkan tahanan internal dilakukan pada dua kondisi yang berbeda yaitu penyinaran secara normal (*normal light*) dan dalam kondisi ditutup (*dark current*). Pengukuran ini dilakukan untuk memperoleh dua kurva *I(V)* dari penyinaran modul sesuai dengan IEC60891. Pada aturan ini dinyatakan bahwa untuk menentukan tahanan seri internal R_s pada pencahayaan buatan harus dipenuhi beberapa persyaratan yaitu (1) kedua kurva *I(V)* diukur pada suhu kamar dengan kuat pencahayaan yang berbeda dimana besarnya tidak harus diketahui namun memiliki spektrum frekuensi yang sama, (2) selama pengukuran, suhu harus dijaga

tetap konstan untuk menghindari drift tegangan modul.

Pengukuran pada kondisi *dark current* dilaksanakan dengan menutup modul menggunakan layar (*screen*) dari bahan kawat nyamuk dengan tujuan untuk mengurangi intensitas radiasi yang jatuh pada modul PV. Kemudian modul dikarakterisasi dengan mengukur arus dan tegangan keluaran pada variasi tahanan beban untuk setiap kondisi pencahayaan, seperti digambarkan pada gambar 3 berikut.



Gambar 3. Rangkaian sederhana untuk mengukur kurva I(V) modul fotovoltaik [13]

Besar nilai R_t ditentukan dari resistor variabel, R_i merupakan resistansi internal dari modul, A merupakan amperemeter dan V adalah voltmeter. Adapun set up pengambilan data diperlihatkan pada gambar 4 berikut.

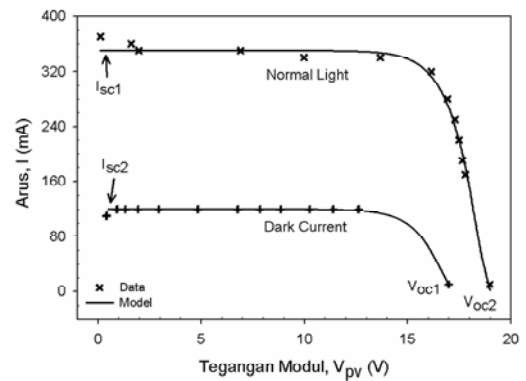


Gambar 4. Set up percobaan untuk mengukur kurva I(V) modul fotovoltaik silikon polikristal Hooray MCP-2 dengan pemasangan *screen* pada permukaan modul

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

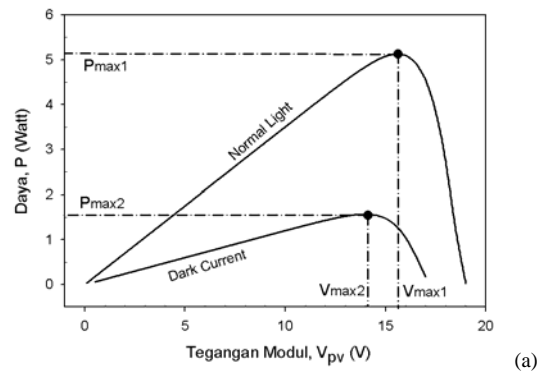
Hasil pengukuran arus dan tegangan yang diperoleh dengan memvariasikan tahanan beban modul fotovoltaik pada kondisi *normal light* dan *dark current* ditampilkan dalam bentuk kurva I(V). Untuk mempermudah menentukan nilai I_{sc} dan V_{oc} maka data pengukuran dimodelkan, seperti pada gambar 5.

Hasil pemodelan kurva I(V) memberikan nilai tegangan *open circuit* (V_{oc1}), arus *short circuit* pada kondisi *normal light* (I_{sc1}), serta tegangan *open circuit* (V_{oc2}), dan arus *short circuit* pada kondisi *dark current* (I_{sc2}).

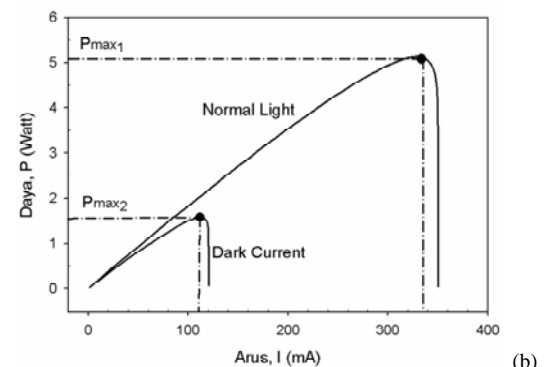


Gambar 5. Hubungan arus dan tegangan modul fotovoltaik pada kondisi *normal Light* dan *dark Current*

Parameter lainnya yang dapat diturunkan dari kurva I(V) adalah nilai maksimum modul fotovoltaik atau *Maximum Power Point* (MPP, yang menyatakan hubungan antara tegangan dan arus untuk menghasilkan daya maksimum. Besarnya MPP juga dapat dinyatakan sebagai daerah terluas dalam kurva I(V) [14]. Pada titik maksimum, modul fotovoltaik menghasilkan daya keluaran terbesar. Setelah melewati titik daya maksimum, maka daya keluaran akan mengalami penurunan, lihat pada gambar 6 berikut ini.



(a)



(b)

Gambar 6. Kurva MPP modul fotovoltaik pada kondisi (a) *Normal Light* dan (b) *Dark Current*

Dari pemodelan kurva pada gambar (5) dan (6) diperoleh parameter - parameter I_{sc} , V_{oc} , I_{pmax} dan V_{pmax} yang akan menentukan perhitungan nilai tahanan seri internal modul. Parameter-parameter tersebut disusun seperti pada tabel 1.

Sementara nilai kemiringan (gradien) M kurva pada kondisi *normal light* dan *dark current* ditentukan berdasarkan persamaan (3). Untuk mempermudah perhitungan maka pada penelitian ini dipergunakan persamaan empiris berdasarkan Wagner [4] yang dinyatakan sebagai berikut:

$$M = \frac{V_{oc}}{I_{sc}} \left(k_1 \frac{I_{pmax} \cdot V_{pmax}}{I_{sc} \cdot V_{oc}} + k_2 \frac{V_{pmax}}{V_{oc}} + k_3 \frac{I_{pmax}}{I_{sc}} + k_4 \right) \quad (10)$$

dengan nilai konstanta $k_1 = -5.411$, $k_2 = 6.45$, $k_3 = 3.417$ dan $k_4 = -4.422$ yang berlaku untuk semua jenis modul fotovoltaik. Nilai gradient M untuk masing-masing kondisi dihitung dari persamaan (10) sebagai berikut:

$M_1 = -7.084$ V/A untuk *normal light* dan

$M_2 = -21.618$ V/A untuk kondisi *dark current*.

Sementara besarnya interval arus ditentukan dari persamaan (8) dan nilai I_{sc2} dari tabel 1,

$$\Delta I = 0.5 \cdot I_{sc2} = 0.06A$$

Nilai V_1 dan V_2 untuk masing-masing kurva $I(V)$ diberikan dari persamaan (2) dan dari parameter pada tabel 2,

$$V_1 = V(I_{sc1} - \Delta I, R_{pv1}, V_{T1}, I_{01}, I_{ph1}) = 16.207V$$

$$V_2 = V(I_{sc2} - \Delta I, R_{pv2}, V_{T2}, I_{02}, I_{ph2}) = 16.532V$$

Sehingga diperoleh nilai tahanan internal modul fotovoltaik sebesar:

$$R_s = \frac{V_2 - V_1}{I_{sc1} - I_{sc2}} = 1.41\Omega$$

Tabel 1. Hasil ekstraksi pemodelan kurva $I(V)$ modul PV

No	Kondisi Pencahayaan	Parameter Kurva $I(V)$							
		I_{sc} (A)	V_{oc} (V)	I_{pmax} (A)	V_{pmax} (V)	R_{pv} (Ohm)	V_{T1} (V)	I_{01} (A)	I_{ph1} (A)
1.	Normal Light	0.350	19	0.33	15.1	4.837	0.787	$1.15E^{-11}$	0.35
2.	Dark Current	0.12	17	0.11	14	14.23	0.886	$1.81E^{-10}$	0.12

Nilai tahanan seri internal R_s ini menggambarkan rugi-rugi internal yang disebabkan oleh rugi-rugi kontak antar sel modul yang merupakan karakteristik dari modul. Perubahan nilai resistansi seri internal akan terjadi pada waktu yang lama yang akan menyebabkan depresiasi mutu keluaran dari modul seiring dengan waktu pemakaian sehingga akan mengurangi arus atau daya yang dihasilkan.

V. KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah dilakukan pengukuran arus dan tegangan modul silikon polikristal *Hooray MCP-2* untuk menentukan tahanan seri internal R_s dari modul. Tahanan seri internal merupakan faktor yang menentukan unjuk kerja panel PV dan ditentukan berdasarkan pemodelan kurva arus dan tegangan $I(V)$ pada dua kondisi berbeda yaitu *normal light* dan *dark current*. Untuk memperoleh efek penurunan intensitas penyinaran pada kondisi *dark current* maka permukaan modul fotovoltaik ditutup dengan *screen* yang menyebabkan penurunan intensitas daya iradiasi sebesar 30% dibandingkan kondisi normal. Modul kemudian dikarakterisasi dengan mengukur arus dan tegangan pada kedua kondisi tersebut.

Berdasarkan pemodelan kurva $I(V)$ diperoleh nilai parameter pemodelan yaitu arus *short circuit* (I_{sc1}) dan tegangan *open circuit* (V_{oc1}), dimana kondisi *normal light* nilainya adalah sebesar 350mA dan 19V, sedangkan pada kondisi *dark current* arus *short circuit* (I_{sc2}) dan tegangan *open circuit* (V_{oc2}) diperoleh masing-masing adalah 120mA dan 17V. Nilai arus

dan tegangan maksimum pada kondisi MPP adalah 331 mA dan 15.1V, sedangkan pada *kondisi dark current* diperoleh sebesar 112 mA dan 14 V. Berdasarkan data diatas diperoleh nilai tahanan seri internal R_s modul fotovoltaik silikon polikristal *Hooray MCP-2* sebesar 1.41 Ohm. Tahanan ini timbul akibat kontak ohmik dan pengkabelan antara tiap sel surya penyusun modul dan merupakan faktor rugi-rugi daya modul PV. Perubahan nilai tahanan kontak antar sel dalam waktu yang lama selama pengoperasian akan menyebabkan perubahan nilai tahanan seri internal modul sehingga terjadi depresiasi daya keluaran.

DAFTAR PUSTAKA

- M. Benganem and S.N. Alamri, "Modeling of photovoltaic module and experimental determination of serial resistance", Journal of Taibah University for Science, 2008.
- Z. Ouennoughi and M. Chegaar, "A simple method for extracting solar cell parameters using the conductance method", Solid-State Electron, vol. 43, pp. 1985-1988, 1999.
- M. Chegaar, Z. Ouennoughi, F. Guechi, "Extracting DC parameters of solar cells under illumination", Vacuum, vol. 75, pp. 367-372, 2004.
- A. Wagner, "Peak - power and internal series resistance measurement under natural ambient conditions". EuroSun Copenhagen, 2000.

- M. Wolf and H. Rauschenbach, "Series resistance effects on solar cells measurements", *Adv. Energy Conversion*, vol. 3, pp. 455–479, 1963.
- K. Rajkanan and J. Shewchun, "A better approach to the evaluation of the series resistance of solar cells", *Solid-State Electron*, vol. 22, pp. 193–197, 1979.
- J. Boucher, M. Lescure and J. Vialas, "Determination of series resistance of a solar cell by dynamic methods", In: *Proc. 1st European community photovoltaic solar energy conference*, p. 1044, 1978.
- E. Radziemska. Dark I–U–T measurements of single crystalline silicon solar cells. *Energy Conversion Manage*, vol. 46, pp. 1485–1494, 2005.
- G. L. Araujo and E. Sanchez. A new method for experimental determination of the series resistance of a solar cell. *IEEE Trans Electron Dev* 1982;29:1511–3.
- CSI California Scientific, Inc, "Solar cell voltage – current characterization", 2010.
- K. Gerald and A. Wagner, "Internal series resistance determined of only one IV – curve under illumination", *European Photovoltaic Solar Energy Conference*, Paris, France, 2004.
- A. Kaminski, J.J. Marchand and A. Laugier, "Non ideal dark I–V curves behaviour of silicon solar cells", *Solar Energy Mater Solar Cells*, vol. 51, pp. 221–231, 1998.
- F. Gabor, "Measuring the difference in output power between fixed and rotatable PV arrays". *Knowbridge Conference on Renewables*, 2010.
- M. Haouari-Merbah, M. Belhamel, I. Tobias, J.M. Ruiz, "Extraction and analysis of solar cell parameters from the illuminated current voltage curve", *Solar Energy Mater Solar Cells*, vol. 87, pp. 225–233, 2005.