

## Pemodelan Kurva I(V) *Normal Light* dan *Dark Current* Modul PV Untuk Menentukan Unjuk Kerja Solar Sel

Lazuardi Umar, Yanuar, Rahmondia N. Setiadi  
Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau  
Kampus Bina Widya, Jl. Prof. Dr. Muchtar Lutfi  
Simpang Baru Pekanbaru 28293  
email: lazuardi@unri.ac.id

**Abstrak.** Kemampuan kerja dari panel modul fotovoltaik (PV) umumnya ditentukan oleh banyak faktor seperti nilai tahanan internal. Nilai ini dapat menyatakan kondisi real dari modul PV dan dapat ditentukan mempergunakan kurva I(V) dari modul. Umumnya, kurva I(V) diukur pada dua kondisi berbeda yaitu pada kondisi *normal light* dan kondisi *dark current*. Pada penelitian ini diukur kurva I(V) dari modul PV *Hooray MCP-2* yang umum terdapat di pasaran dengan nilai parameter – parameter modul fotovoltaik yaitu  $I_{sc}$ ,  $V_{oc}$ ,  $I_{pmax}$  dan  $V_{pmax}$  yang ditentukan berdasarkan persamaan Wagner, yaitu sebesar  $M_1 = -6.992$  V/A untuk *normal light* dan  $M_2 = -8.891$  V/A untuk kondisi *dark current*. Nilai arus dan tegangan maksimum diperoleh dari titik daya maksimum modul (*Maximum Power Point, MPP*). Hasil perhitungan tahanan internal seri pada modul fotovoltaik silikon polikristal *Hooray* diperoleh nilai sebesar  $0.059 \Omega$ . Perubahan nilai ini menjadi indikator degradasi unjuk kerja fotovoltaik selama pengoperasian.

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

**Abstract.** Photovoltaic modules (PV) performance is generally determined by many factors such as internal resistance value. This parameter shows the real condition of the PV module and can be determined using the I(V)-curve of the module. Generally, the curve I(V) is measured at two different conditions, namely in *normal light* and *dark current*. This paper presents the measured I(V) curve of the PV module *Hooray MCP-2* commonly available in the market, with parameter values - namely photovoltaic module parameters  $I_{sc}$ ,  $V_{oc}$ ,  $I_{pmax}$  dan  $V_{pmax}$  which are determined after Wagner equation,  $M_1 = -6.992$  V/A for *normal light* and  $M_2 = -8.891$  V/A for *dark current*. The maximum voltage and current values are obtained from the maximum power point of PV module (*Maximum Power Point, MPP*). Simulation and calculation of the internal series resistance in the modules *Hooray* shows a value of  $0.059 \Omega$ . Variation of this parameter can be used as indicators of photovoltaic performance degradation during operation.

**Keywords:** Photovoltaic module, internal resistance, *normal light*, *dark current*, gradient

### 1. Latar Belakang

Dewasa ini penggunaan energi listrik memberikan peranan yang sangat penting dalam kehidupan manusia yang membuat 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 (Gabor, 2010).

Berbagai tipe modul PV dibuat dan dijual di pasaran yang belum diketahui kualitas dan unjuk kerjanya (*performance*). Salah satu faktor penentuan harga adalah jumlah daya yang dihasilkan namun minim informasi yang menyatakan degradasi output panel selama pengoperasiannya. Salah satu cara untuk mengidentifikasi kualitas dari sel surya adalah dengan cara mengukur kurva I(V) nya dan menganalisa perubahan parameter penting yang mengakibatkan terjadinya depresiasi daya modul. Parameter penting dari modul PV yang sering menjadi acuan penurunan mutu panel surya adalah tahanan seri internal yang menggambarkan rugi-rugi internal (*internal losses*) akibat kontak listrik antar sel surya (Benghanem, 2008; Ouennoughi, 1999).

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 (Wagner, 2000). 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 (Radziemska, 2005; Araujo, 1982). Beberapa dari penelitian ini mengenalkan penggunaan metode pengukuran dinamis (Boucher, 1978) atau prosedur integrasi (Araujo 1982) berdasarkan perhitungan komputasi pada daerah di dalam kurva arus dan tegangan I(V).

Pada penelitian ini, modul PV *Silikon Polikristal Hooray MCP-2* telah dikarakterisasi untuk menentukan tahanan internalnya melalui pengukuran I(V). 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 komponen dari sistem fotovoltaik yang dapat dipergunakan untuk mengetahui degradasi output sel surya selama masa pengoperasiannya.

## 2. Metodologi

### 2.1. Pemodelan Kurva I(V) Solar Sel

Sifat listrik dari modul fotovoltaik biasanya diwakili dengan kurva I(V) yang 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. Beda potensial menghasilkan arus yang berlawanan arah dengan arus foto (*photocurrent*) dan arus yang tersisa berkurang dari nilai rangkaian terbuka. Arus kebalikan ini disebut arus gelap (*dark current*), yang dianalogikan dengan arus  $I_{dark}$ .

Tahanan internal dapat diwakili dengan diagram rangkaian ekuivalen 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:

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

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

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

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

Besarnya perbedaan arus yang diperlukan untuk menentukan tahanan seri internal ditentukan sesuai persamaan:  $\Delta I = 0.5 \cdot I_{sc2}$ , sehingga diperoleh tahanan internal modul fotovoltaik,

$$R_s = \frac{V(I_{sc2} - \Delta I, R_{pv2}, V_{T2}, I_{02}, I_{ph2}) - V(I_{sc1} - \Delta I, R_{pv1}, V_{T1}, I_{01}, I_{ph1})}{I_{sc1} - I_{sc2}} \quad (8)$$

Berdasarkan persamaan tersebut maka pemodelan kurva I(V) modul PV kondisi *normal light* dan *dark current* akan memberikan nilai tahanan internal dari modul fotovoltaik yang menjadi dasar penentuan kemampuan dari panel.

## 2.2. Eksperimen

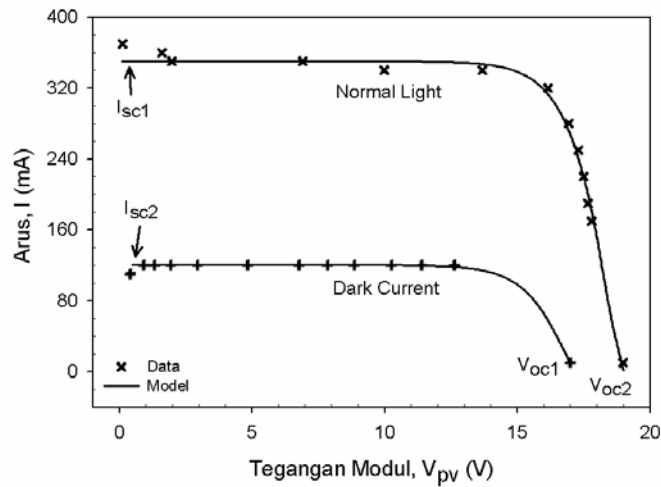
Pengukuran modul PV pada secara *normal light* dan dalam kondisi ditutup (*dark current*) dilakukan untuk memperoleh dua kurva I(V) sesuai dengan standar IEC60891. Pada penelitian ini pengukuran kondisi *dark current* dilaksanakan dengan menutup modul menggunakan layar (*screen*) dari bahan kawat nyamuk dengan tujuan untuk mengurangi intensitas radiasi yang jatuh pada modul PV. Adapun set up pengambilan data diperlihatkan pada Gambar 1 berikut.



**Gambar 1.** Set up percobaan untuk mengukur kurva I(V) modul fotovoltaik silikon polikristal Hooray MCP-2 dengan pemasangan *screen* pada permukaan modul

### 3. Hasil dan Pembahasan

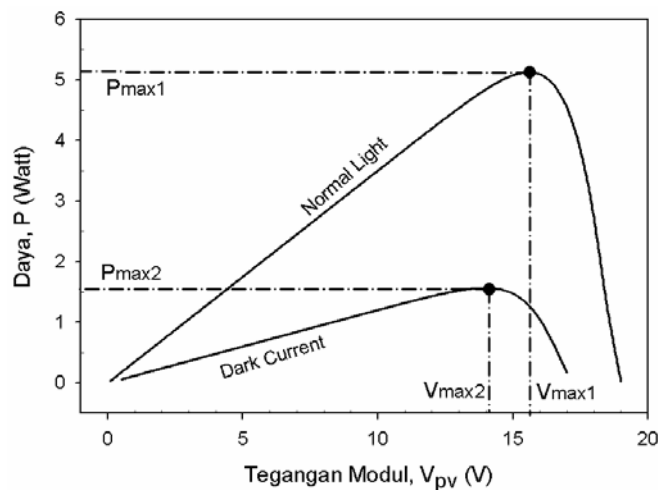
Kurva I(V) diperoleh dengan memvariasikan tahanan beban modul fotovoltaik pada kondisi *normal light* dan *dark current* seperti ditampilkan Gambar 2.



**Gambar 2.** Kurva I(V) modul fotovoltaik pada kondisi *normal light* dan *dark Current*

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* ( $I_{sc2}$ ).

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) (Araujo, 1982). Pada titik maksimum, modul fotovoltaik menghasilkan daya keluaran terbesar. Setelah melewati titik daya maksimum, maka daya keluaran akan mengalami penurunan, lihat pada Gambar 3..



**Gambar 3.** Kurva MPP modul fotovoltaik

Dari pemodelan kurva pada Gambar 2 dan 3 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.

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

No	Kondisi Pencahayaan	Parameter Kurva I(V)			
		I <sub>sc</sub> (A)	V <sub>oc</sub> (V)	I <sub>pmax</sub> (A)	V <sub>pmax</sub> (V)
1.	Normal Light	0.350	19	0.33	15.1
2.	Dark Current	0.12	17	0.11	14

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 (2000) 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 adalah sebagai berikut:

$M_1 = -6.992$  V/A untuk *normal light* dan

$M_2 = -8.891$  V/A untuk kondisi *dark current*.

Nilai interval arus ditentukan dari nilai  $I_{sc2}$  dari Tabel 1 sehingga  $\Delta I = 0.5 \cdot I_{sc2} = 0.06A$ .

Nilai  $V_1$  dan  $V_2$  untuk masing-masing kurva I(V) diberikan dari persamaan (2) dan dari parameter pada Tabel 2, Sehingga diperoleh nilai tahanan internal modul fotovoltaik sebesar:

$$R_s = \frac{V_2 - V_1}{I_{sc1} - I_{sc2}} = 0.059 \Omega$$

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.

#### 4. Kesimpulan

Modul silikon polikristal *Hooray MCP-2* telah dikarakterisasi untuk menentukan tahanan seri internal  $R_s$  berdasarkan pemodelan kurva arus dan tegangan I(V) pada dua kondisi berbeda yaitu *normal light* dan *dark current*. Efek penurunan intensitas penyinaran pada kondisi *dark current* dilakukan dengan menutup mempergunakan *screen* yang menyebabkan penurunan intensitas daya iradiasi sebesar 30% dibandingkan kondisi normal. Berdasarkan pemodelan kurva I(V) diperoleh nilai 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 di atas diperoleh nilai tahanan seri internal  $R_s$  modul fotovoltaik silikon polikristal *Hooray MCP-2* sebesar 0.059 Ohm. Nilai ini sangat penting untuk mengetahui unjuk kerja sel surya dalam masa pengoperasian yang lama.



## 5. Daftar Pustaka

- Araujo G. L. and Sanchez E., 1982, A new method for experimental determination of the series resistance of a solar cell. *IEEE Trans Electron Dev*; 29:1511–3.
- Benghanem M. and Alamri S.N., 2008, Modeling of photovoltaic module and experimental determination of serial resistance, *Journal of Taibah University for Science*.
- Boucher J., Lescure M. and Vialas J., 1978, Determination of series resistance of a solar cell by dynamic methods, In: *Proc. 1st European community photovoltaic solar energy conference*, 1044.
- Gabor F., 2010, Measuring the difference in output power between fixed and rotatable PV arrays. *Knowbridge Conference on Renewables*.
- Ouennoughi Z. and Chegaar M., 1999, A simple method for extracting solar cell parameters using the conductance method, *Solid-State Electron*, vol. 43, 1985–1988.
- Radziemska E., 2005, Dark I–U–T measurements of single crystalline silicon solar cells. *Energy Conversion Manage*, vol. 46, 1485–1494.
- Wagner A., 2000, Peak – power and internal series resistance measurement under natural ambient conditions. *EuroSun Copenhagen*.

