

# **Penentuan Parameter-Parameter Karakteristik Sel Surya untuk Kondisi Gelap dan Kondisi Penyinaran dari Kurva Karakteristik Arus-Tegangan (I-V)**

**A. Suhandi, Y. R. Tayubi, Hikmat, A. Eliyana**

*Jurusan Pendidikan Fisika FPMIPA UPI, Jl. DR. Setiabudhi No. 229 Bandung (40154)*

## **Abstract**

A systematic procedure to obtain the main parameters which characterize a commercial solar cells, both in dark conditions (series and shunt resistances and recombination and diffusion saturation currents) and also under illumination (short circuit current, open circuit voltage and fill factor) are presented in this paper. All the measurements needed are made with simple and inexpensive apparatus and the calculations are straightforward.

## **PENADAHULUAN**

Sel surya merupakan salah satu piranti elektronik yang dapat mengubah secara langsung energi radiasi matahari menjadi energi listrik. Sel surya merupakan sumber energi yang tidak akan pernah habis, selama matahari memancarkan sinarnya ke bumi. Diperkirakan bahwa sel surya akan menjadi sumber pembangkit listrik andalan di masa datang karena penggunaannya yang sangat praktis terutama untuk suplai energi di daerah-daerah terpencil yang sulit terjangkau oleh PLN. Selain itu, sumber energi ini ramah lingkungan karena dalam proses konversinya tidak menghasilkan polutan sama sekali. Penelitian tentang sel surya di berbagai belahan dunia masih terus dilakukan hingga saat ini.

Salah satu sistem peralatan yang sangat diperlukan dalam kegiatan riset terkait pengembangan sel surya adalah sistem pengukur karakteristik sel surya dan prosedur penentuan parameter-parameter karakteristik sel surya berdasarkan data-data hasil pengukuran yang didapatnya. Melalui penelitian ini telah dilakukan pengembangan sistem pengukur parameter-parameter karakteristik sel surya beserta

prosedur penentuan paramter-parameter karakteristik sel surya baik dalam kondisi penyinaran maupun dalam kondisi tanpa penyinaran.

Sebenarnya beberapa sistem pengukuran serupa telah dikembangkan oleh beberapa kelompok peneliti (Kammer et. al., 1997, Muoy et. al., 1981, Mialhe et. al., 1983, dan Khoury et. al., 1984), akan tetapi sistem-sistem ini tidak dapat secara langsung dapat menentukan parameter-parameter karakteristik sel surya dari data hasil pengukuran, sehingga dinilai kurang praktis.

Dalam artikel ini dipaparkan tentang contoh penentuan parameter-parameter karakteristik sel surya baik untuk keadaan tanpa penyinaran maupun dalam keadaan penyinaran dengan prosedur yang dikembangkan berdasarkan data-data yang diperoleh dari hasil pengukuran dengan menggunakan sistem pengukur yang telah dikembangkan. Sebagai contoh pengukuran, telah digunakan sel surya komersial berbasis bahan silicon amorf.

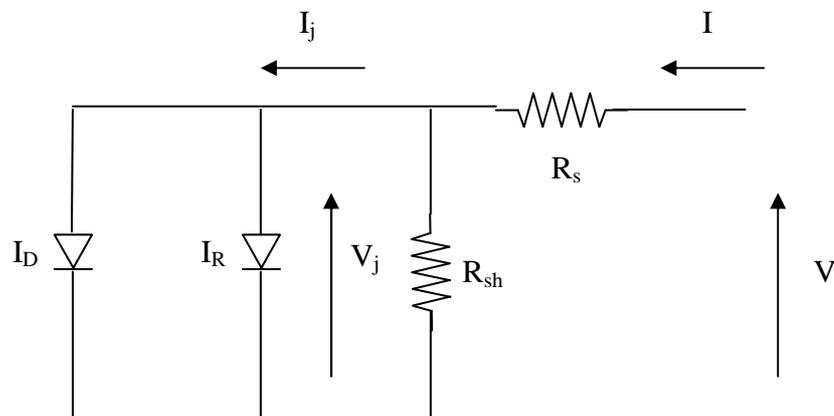
## DASAR TEORI

### 1. Karakteristik I-V dalam Kondisi Gelap

Hubungan arus-tegangan untuk suatu sel surya Silikon dapat dituliskan seperti berikut : (Wolf et. al., 1977)

$$I = \frac{V - IR_s}{R_{sh}} + I_{0R} \left( \exp\left(\frac{q(V - IR_s)}{2kT}\right) - 1 \right) + I_{0D} \left( \exp\left(\frac{q(V - IR_s)}{kT}\right) - 1 \right) \quad (1)$$

Dimana  $I_{0R}$  dan  $I_{0D}$  menyatakan arus rekombinasi dan arus saturasi difusi. Semua simbol yang lainnya merupakan simbol-simbol untuk besaran yang biasa digunakan.



Gambar 1. Rangkaian ekivalen untuk sel surya Silikon

Persamaan (1) dapat disimulasikan dengan sebuah rangkaian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.  $V$  dan  $I$  berturut-turut menyatakan tegangan dan arus listrik eksternal yang diukur,  $I_j$  dan  $V_j$  berturut-turut menyatakan arus persambungan dan tegangan jatuh persambungan. Dari Persamaan (1) atau dari Gambar 1, dapat diidentifikasi empat mekanisme penting yang menentukan karakteristik I-V suatu sel surya, yaitu ; hambatan seri ( $R_s$ ) yang membatasi arus listrik pada nilai  $V$  tertentu, hambatan shunt ( $R_{sh}$ ), arus rekombinasi ( $I_R$ ), dan arus difusi ( $I_D$ ).

Untuk mendapatkan semua nilai parameter yang tercakup dalam Persamaan (1), perlu dilakukan suatu pendekatan bergantung pada nilai tegangan.

## 2. Nilai-Nilai Pada Kondisi Tegangan Tinggi

Dalam rentang nilai tegangan tinggi, dapat dimasukkan kedalam perhitungan suatu nilai tertentu untuk parameter-parameter yang dicakup dalam Persamaan (1), sehingga hubungan I-V dapat dituliskan seperti berikut :

$$I = I_{0D} \exp\left(\frac{q(V - IR_s)}{kT}\right) \quad (2)$$

Akibat pengaruh  $R_s$ ,  $V$  dan  $V_j$  memiliki nilai yang berbeda. Dengan kata lain dalam rentang ini nilai  $I = I_j$ , memberikan nilai *shunt* sangat kecil sehingga dapat diabaikan. Nilai  $R_s$  dapat ditentukan dengan mengikuti prosedur yang dinyatakan oleh Fuchs et. al., 1986 seperti berikut : untuk dua pasangan data eksperimen yang berturutan, Persamaan (2) dapat disusun kembali sehingga didapatkan hubungan :

$$\begin{aligned} Y &= \frac{I_{N+1} + I_N}{\ln(I_{N+1}/I_N)} = -\frac{kT}{qR_s} + \frac{1}{R_s} \frac{V_{N+1} - V_N}{\ln(I_{N+1}/I_N)} \\ &= -\frac{kT}{qR_s} + \frac{1}{R_s} X \end{aligned} \quad (3)$$

Teknik pencocokan kuadrat terkecil dari variabel  $Y$  terhadap variabel  $X$  dapat dilakukan dengan menggunakan semua titik eksperimen yang diukur pada tegangan

yang lebih tinggi untuk mendapatkan nilai  $R_s$ . Sekali  $R_s$  dapat ditentukan, maka nilai  $V_j$  dapat dihitung melalui persamaan :

$$V_j = V - IR_s \quad (4)$$

Jika Persamaan (4) disubstitusikan ke Persamaan (1), dan pengaruh  $R_s$  di eliminasi, akan didapatkan suatu persamaan dengan variabel-variabel yang terpisah seperti berikut :

$$I = \frac{V_j}{R_{sh}} + I_{0R} \left( \exp\left(\frac{q(V - IR_s)}{2kT}\right) - 1 \right) + I_{0D} \left( \exp\left(\frac{q(V - IR_s)}{kT}\right) - 1 \right) \quad (5)$$

### 3. Nilai-Nilai Pada Kondisi Tegangan Rendah

Untuk rentang nilai tegangan rendah, persamaan (1) dapat disederhanakan menjadi :

$$I \cong \frac{V_j}{R_{sh}} \quad (6)$$

yakni bentuk karakteristik I-V yang terutama disebabkan oleh pengaruh  $R_{sh}$ . Dari kemiringan kurva linier I terhadap V, dapat ditentukan nilai  $R_{sh}$ .

Setelah nilai  $R_{sh}$ , dapat ditentukan, pengaruhnya terhadap karakteristik I-V dapat dieliminasi melalui persamaan :

$$I_j = I - V_j / R_{sh} \quad (7)$$

Dengan cara mensubstitusi persamaan (4) dan (7) ke dalam persamaan (1), diperoleh persamaan kurva karakteristik I-V untuk nilai-nilai persambungan seperti berikut :

$$I_j = I_{0R} \left( \exp\left(\frac{q(V - IR_s)}{2kT}\right) - 1 \right) + I_{0D} \left( \exp\left(\frac{q(V - IR_s)}{kT}\right) - 1 \right) \quad (8)$$

Selanjutnya plot kurva  $I_j$  terhadap  $V_j$  dapat digunakan untuk menentukan  $I_{0R}$  dan  $I_{0D}$ .

#### 4. Karakteristik I-V pada Kondisi Disinari

Di bawah kondisi penyinaran, karakteristik I-V sel surya menjadi : (S. M. Sze, 1981)

$$I = \frac{V - IR_s}{R_{sh}} + I_{0R} \left( \exp\left(\frac{q(V - IR_s)}{2kT}\right) - 1 \right) + I_{0D} \left( \exp\left(\frac{q(V - IR_s)}{kT}\right) - 1 \right) - I_L \quad (9)$$

dimana  $I_L$  adalah arus listrik yang dibangkitkan cahaya, nilainya tidak bergantung pada tegangan. Dengan formula ini, karakteristik I-V sel surya pada kondisi ini tampak mirip dengan karakteristik I-V pada kondisi gelap, tetapi ditranslasi ke kuadran empat. Parameter-parameter utama yang dapat ditentukan dari perilaku sel surya saat disinari adalah  $V_{oc}$  (*open circuit voltage* = tegangan rangkaian terbuka),  $I_{sc}$  (*short circuit current* = arus hubung singkat), FF (*Fill Factor* = Faktor Pengisian sel surya), dan  $\eta$  (*conversion efficiency* = efisiensi konversi). Nilai *Fill Factor* ditentukan melalui Persamaan : (Moller, 1993)

$$FF = \frac{I_m V_m}{I_{sc} V_{oc}} \quad (10)$$

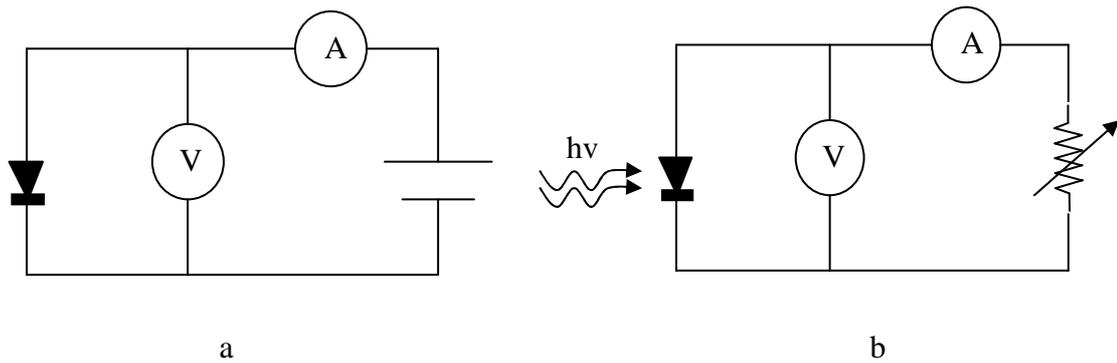
Dimana  $I_m$  dan  $V_m$  adalah arus dan tegangan listrik pada titik kerja optimum, yaitu yang menghasilkan daya keluaran maksimum. Sedangkan efisiensi konversi ( $\eta$ ) dihitung melalui persamaan : (Moller, 1993)

$$\eta = \frac{FF V_{oc} I_{sc}}{P_{in}} \times 100\% \quad (11)$$

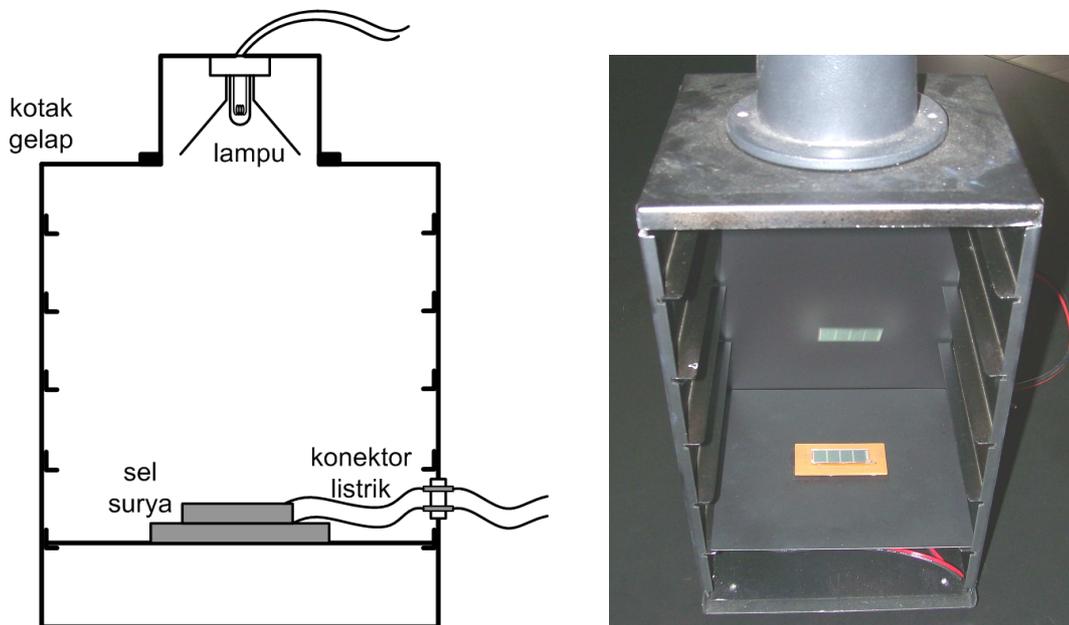
Dengan  $P_{in}$  adalah daya input cahaya lampu yang digunakan.

#### EKSPERIMEN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimen, dengan menggunakan rangkaian elektronik seperti ditunjukkan pada Gambar 2.a dan 2.b.



Gambar 2. Rangkaian yang akan dipergunakan untuk (a) mengukur karakteristik pada kondisi gelap, (b) mengukur karakteristik pada saat disinari



Gambar 3. Rancangan sistem pengukur karkteristik sel surya yang akan dibuat

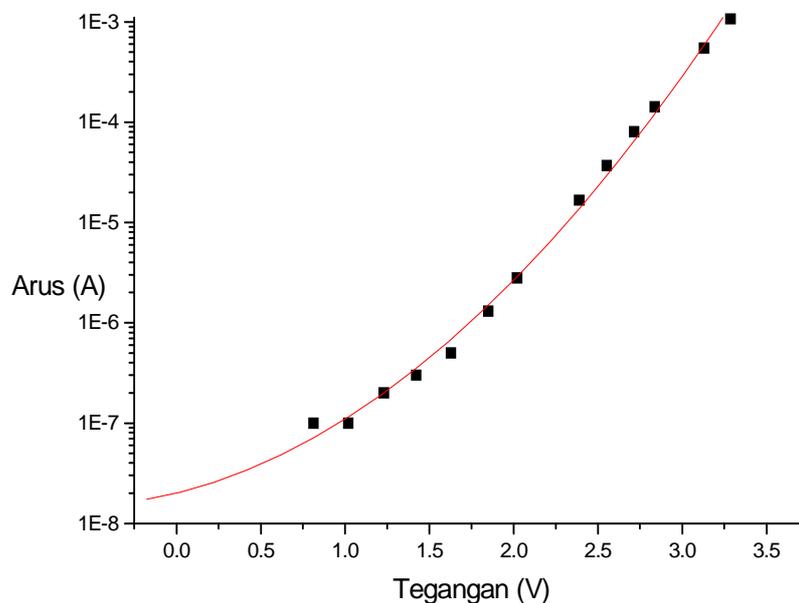
Untuk kepentingan pengukuran karakteristik I-V sel surya baik dalam keadaan disinari maupun tanpa disinari, telah dikembangkan suatu sistem peralatan sederhana. Rancangan sistem pengukuran parameter karakteristik sel surya yang dibuat dan digunakan ditunjukkan pada Gambar 3. Sistem pengukur ini dibuat dari bahan alumunium dengan ukuran  $(15 \times 15 \times 30) \text{cm}^3$  dan dihubungkan dengan suatu rangkaian elektronik. Pada bagian atas ditempatkan lampu untuk mengukur karakteristik I-V dalam keadaan diberi penyinaran. Lampu yang digunakan adalah

lampu tipe XENOPHOT 64653 dengan intensitas  $77.75 \text{ mW/cm}^2$ . Sedangkan sel surya yang digunakan adalah sel surya berbasis silikon amorf berseri KSC 30763 dengan ukuran  $(3,4 \times 1,5) \text{ cm}^2$ .

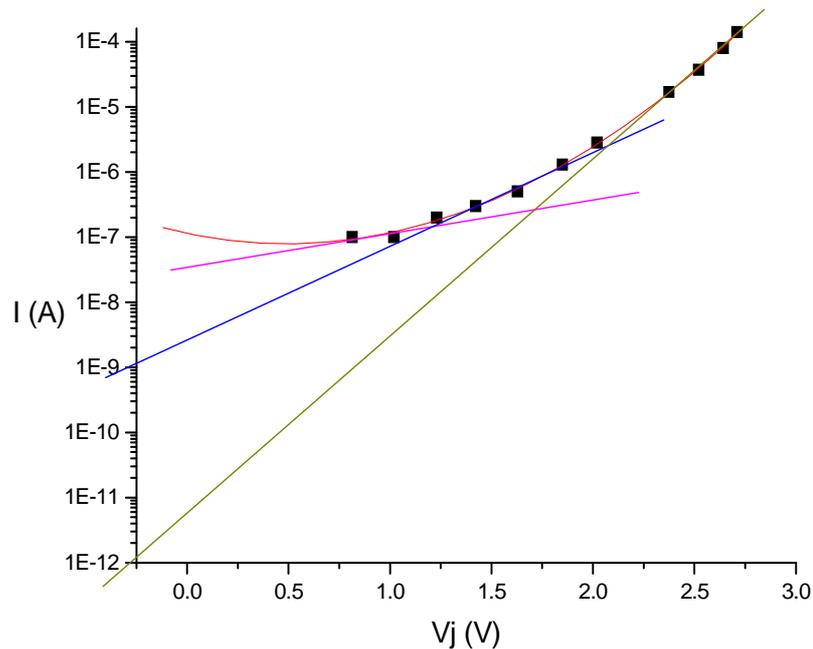
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Karakteristik I-V sel surya dalam kondisi tanpa penyorotan

Gambar 4 menunjukkan karakteristik I-V sel surya Silikon dalam kondisi tanpa penyorotan. Dari grafik tersebut pengaruh dari kedua resistansi,  $R_S$  dan  $R_{Sh}$  dapat dilihat dengan jelas. Dengan mengikuti prosedur analisis yang telah dipaparkan pada bagian teori dan eksperimen, nilai  $R_S$  dapat ditentukan pada tegangan lebih besar dari 2,5 V, dan nilai  $R_{Sh}$  dapat ditentukan pada tegangan lebih rendah dari 1,75 V. Nilai-nilai  $R_S$  dan  $R_{Sh}$  tersebut adalah  $9,01 \times 10^2 \Omega$  dan  $5,71 \times 10^6 \Omega$  secara berturut-turut.



Gambar 4. Kurva karakteristik I-V sel surya dalam keadaan tanpa penyorotan



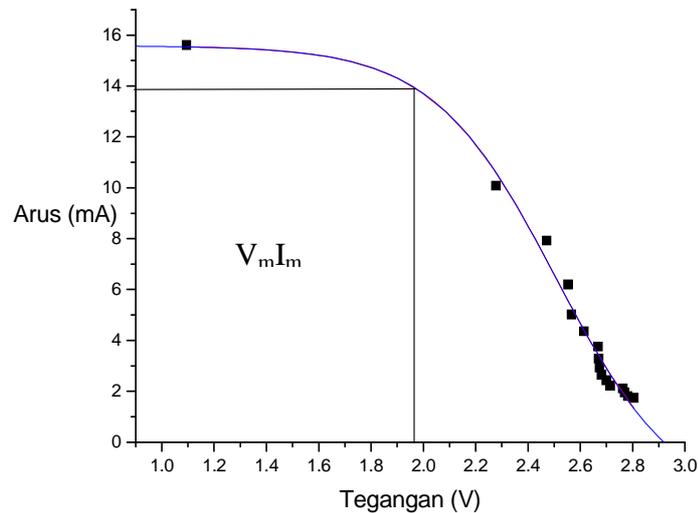
Gambar 5. Kurva karakteristik  $I$  terhadap  $V_j$ , yang menunjukkan nilai arus saturasi difusi (warna kuning), arus saturasi rekombinasi (warna biru), dan hambatan shunt (warna *magenta*).

Dengan menggunakan nilai-nilai  $R_s$  dan  $R_{sh}$  ini pada persamaan (4) dan (7), nilai-nilai untuk pasangan data  $V_j$ ,  $I_j$  yang berkaitan dapat diperoleh seperti ditunjukkan pada Gambar 5. Jika dilakukan pencocokan pada kurva tersebut mengikuti persamaan (8), maka pada pencocokan optimum, diperoleh nilai arus saturasi rekombinasi ( $I_{OR}$ ) sebesar  $1,162 \times 10^{-9}A$ , dan nilai arus saturasi difusi ( $I_{OD}$ ) sebesar  $1,157 \times 10^{-12}A$ . Nilai-nilai yang diperoleh ini memiliki tingkat kecocokan yang tinggi dengan nilai-nilai teoritis untuk arus-arus saturasi ini ( $10^{-9}A \sim 10^{-12}A$ ) untuk sel surya Silikon (Wolf, et al., 1977).

## 2. Karakteristik I-V sel surya dalam kondisi disinari

Kurva karakteristik I-V sel surya di bawah penyinaran berdasarkan hasil pengukuran ditunjukkan pada Gambar 6. Berdasarkan Gambar tersebut diperoleh arus hubung singkat ( $I_{sc}$ ) dan tegangan rangkaian terbuka ( $V_{oc}$ ) berturut-turut sebesar 15,580270 mA dan 2,9353183 V. Sedangkan  $V_m$  dan  $I_m$  masing-masing adalah tegangan dan arus pada titik operasi optimum. Nilai  $V_m$   $I_m$  diperoleh dari luasan

maksimum dibawah kurva I-V seperti ditunjukkan pada Gambar 6. Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh nilai  $V_m I_m$  sebesar 27,40464 mW. Nilai *fill factor* (FF) dan efisiensi ( $\eta$ ) selanjutnya ditentukan dari persamaan (10) dan (11).



Gambar 4.5. Kurva karakteristik I-V sel surya dalam keadaan penyinaran

Nilai *fill factor* (FF) yang merupakan perbandingan daya maksimum ( $V_m I_m$ ) yang dihasilkan sel surya terhadap perkalian  $I_{sc}$  dan  $V_{oc}$  diperoleh sebesar 0,5992, dan nilai efisiensi konversi sebesar 7,193%. Besaran nilai efisiensi sel surya yang diperoleh ini dinilai layak untuk sel surya berbasis bahan silikon amorf, berdasarkan penelitian-penelitian yang telah dilakukan pada silikon amorf, efisiensi yang terukur berkisar (6-9)% (Khan, 2008).

Hasil-hasil ini secara tidak langsung menunjukkan bahwa sistem peralatan yang dikembangkan serta prosedur penentuan parameter-parameter karakteristik sel surya yang telah digunakan cukup baik dan berpotensi untuk dipergunakan sebagai sistem pengukuran untuk kegiatan praktikum maupun penelitian yang terkait dengan karakterisasi sel surya.

## KESIMPULAN

Telah dipaparkan prosedur penentuan parameter-parameter karakteristik sel surya dalam keadaan tanpa penyinaran dan keadaan dengan penyinaran dari karakteristik Arus-Tegangan (I-V). Pengukuran karakteristik I-V dilakukan dengan menggunakan sistem peralatan yang sederhana dan tidak mahal hasil pengembangan sendiri. Parameter-parameter karakteristik sel surya Silikon yang diperoleh berdasarkan hasil pengukuran dalam keadaan tanpa penyinaran adalah  $R_s = 9,01 \times 10^2 \Omega$ ,  $R_{sh} = 5,71 \times 10^6 \Omega$ ,  $I_{OR} = 1,162 \times 10^{-9} \text{A}$ , dan  $I_{OD} = 1,157 \times 10^{-12} \text{A}$ . Sedangkan dari karakteristik I-V dalam kondisi penyinaran diperoleh nilai-nilai  $I_{SC} = 15,580270 \text{ mA}$ ,  $V_{OC} = 2,9353183 \text{ V}$ ,  $FF = 0,5992$ , dan  $\eta = 7,193 \%$ . Nilai-nilai ini sangat mendekati nilai-nilai parameter karakteristik sel surya Silikon amorf. Hal ini menunjukkan bahwa sistem peralatan pengukuran yang dikembangkan memiliki potensi yang cukup baik untuk digunakan sebagai alat praktikum maupun alat riset.

## DAFTAR PUSTAKA

- Fuchs, D., Sigmund, H., 1986, Analysis of The Current-Voltage Characteristics of Solar Cells, *Solid State Electron.*, 29, 791-795
- I. Martil, G. Gonzalez Diaz, 1992, Determination of the Dark and illuminated Characteristic Parameters of a Solar Cell from I-V Characteristic, *Eur. J. Phys*, 13, 193-197.
- Kammer, D. W., Ludington, M. A., 1977, Laboratory Eksperiments With Silicon Solar Cells, *Am. J. Phys.*, 45, 602-605
- Khoury, A., Charles, J. P., Charette, J., Fielx, M., Mialhe, P., 1984, Solar Cells : A Laboratory Experiment of The Temperature Dependence of The Open-Circuit Voltage, *Am. J. Phys.*, 52, 449-451
- Muoy, Y. H., Charles, J. P., Abdelkarim, M., 1981, Reliable and Economical Circuit I-V Charcterization Solar Cells, *Am. J. Phys.*, 49, 508-509
- Mialhe, P., Charette J., 1983, Experimental Analysis of I-V Characteristics of Solar Cells, *Am. J. Phys.*, 51, 68-70
- Moller, H. J., 1993, *Semiconductor for Solar Cells*, Artech House Inc, London.
- Sze, S. M., 1981, *Physics of Semiconductor Devices*, New York, Wiley

Wolf, M., Noel, G. T., Stirn, R. J., 1977, Investigation of The Double Exponential in  
The Current-Voltage Characteristics of Silicon Solar Cells, IEEE  
Trans. Electron. Dev., ED-24, 419-428