

# Estimasi Parameter Modul Surya 190 Wp Menggunakan Metode Newton Raphson

Abdul Hafid<sup>1</sup>, Adriani<sup>2</sup>, Wahyudi Bakri<sup>3</sup>, dan Rahmania<sup>4</sup>  
<sup>1,2,3,4</sup>Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Makassar  
Jl. Sultan Alauddin No. 259 Makassar 90221  
e-mail: abdul.hafid@unismuh.ac.id

**Abstrak**— Tulisan ini menyajikan hasil penelitian tentang estimasi parameter modul surya tipe BLD180-72M dengan daya puncak 190 Wp menggunakan metode Newton Raphson. Dalam penelitian ini digunakan model rangkaian ekuivalen sel surya paralel satu diode. Parameter yang diestimasi adalah arus foton (photocurrent)  $I_{ph}$ , resistansi seri  $R_s$  dan resistansi paralel  $R_p$  dari modul. Dua parameter lainnya, yaitu arus balik saturasi diode (*diode reverse saturation current*) dan faktor keidealitas diode (*diode ideality factor*) tidak diestimasi tetapi diasumsikan memiliki nilai tertentu. Dalam penelitian ini, estimasi parameter  $I_{ph}$ ,  $R_s$  dan  $R_p$  berhasil dilakukan dan hasilnya konvergen, yaitu arus foton 6.7211A, resistansi seri 0.2135  $\Omega$  dan resistansi paralel sebesar 26.438  $\Omega$ . Pada penelitian ini, diberikan juga nilai ketiga parameter yang disebutkan untuk temperatur kerja modul 48 °C untuk berbagai tingkat penyinaran matahari. Berdasarkan kurva daya keluaran versus tegangan dari modul surya yang diteliti, diperoleh hasil bahwa untuk iradiasi matahari sebesar 600 W/m<sup>2</sup>, daya yang dihasilkan modul maksimum sekitar 70 W, dan untuk iradiasi matahari sebesar 700 W/m<sup>2</sup> daya keluaran maksimumnya sekitar 102 W, dan untuk iradiasi matahari 1000 W/m<sup>2</sup>, modul surya tipe BLD180-72M menghasilkan daya keluaran puncak sekitar 198 W

**Kata kunci:** Modul surya, Newton Raphson, Estimasi parameter

**Abstract**— This paper presents the results of research on parameter estimation of the BLD180-72M type solar module with a peak power of 190 Wp using the Newton Raphson method. In this study, a single diode solar cell equivalent circuit model was used. The estimated parameters are photocurrent  $I_{ph}$ , series resistance  $R_s$  and parallel resistance  $R_p$  of the module. The other two parameters, namely the diode reverse saturation current and the diode ideality factor, are not estimated but are assumed to have a certain value. In this study, the estimation of parameters  $I_{ph}$ ,  $R_s$  and  $R_p$  was successfully carried out and the results converged, namely photocurrent 6.7211A, series resistance 0.2135 and parallel resistance 26.438  $\Omega$ . In this study, the values of the three parameters mentioned for the module working temperature of 48 °C are also given for various levels of solar radiation. Based on the output power versus voltage curve of the studied solar module, the results show that for solar irradiation of 600 W/m<sup>2</sup>, the maximum power generated by the module is around 70 W, and for solar irradiation of 700 W/m<sup>2</sup> the maximum output power is around 102 W, and for 1000 W/m<sup>2</sup> solar irradiation, the BLD180-72M type solar module produces a peak output power of about 198 W

**Keywords:** Solar module, Newton Raphson, Parameter estimation

## I. PENDAHULUAN

Sumber energi terbarukan seperti: Panas bumi, angin/bayu, surya, air, bioenergi, arus dan gelombang laut sudah banyak dimanfaatkan sebagai sumber energi pada pembangkit listrik energi terbarukan, dan beberapa diantaranya telah banyak digunakan di Indonesia baik dengan skema penyaluran off grid/ terisolasi, hybrid dengan generator diesel maupun yang on grid. Salah satu contoh pemanfaatan sumber energi terbarukan di Provinsi Sulawesi Selatan adalah Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Kodingareng. Pulau kodingareng adalah salah satu pulau dalam gugusan kepulauan spermonde yang ada di Kota Makassar yang terdiri atas pulau Kodingareng Keke dan Kodingareng Lompo. Pulau Kodingareng Keke adalah pulau yang tidak berpenghuni, sementara pulau Kodingareng Lompo adalah pulau yang memiliki jumlah penduduk yang padat. Jika dibandingkan dengan pulau lain,

Pulau kodingareng Lompo memiliki fasilitas yang cukup maju, terdapat instalasi listrik dengan generator (Pembangkit Listrik Tenaga Diesel, PLTD) dan panel tenaga surya (Pembangkit Listrik Tenaga Surya, PLTS) yang beroperasi selama 24 jam. Saat ini PLN Sulselrabar telah mengoperasikan PLTS dengan kapasitas 400 kilowatt puncak (kWp) di Pulau Kodingareng. Berdasarkan topologi *single line diagram* PLTS Kodingareng, PLTS dilengkapi dengan 2 unit *charger controller* atau MPPT (*Maximum power point tracker*), 2 unit *bidirectional inverter* dan 2 unit *battery bank*. PLTS Kodingareng mengoperasikan 2106 unit modul surya. Modul-modul tersebut disusun menjadi 6 array dimana setiap array terdiri dari 27 string disusun paralel, dan setiap string terdiri dari 13 unit modul surya tersusun seri. Totalnya terdapat 351 unit modul surya untuk setiap array. Modul surya yang digunakan pada PLTS Kodingareng mempunyai daya puncak 190 Wp. Penelitian

ini bertujuan untuk melakukan estimasi parameter modul surya berkapasitas 190 Wp tipe BLD180-72M menggunakan model rangkaian ekuivalen satu diode dengan teknik estimasi Newton Raphson.

## II. METODE

### Objek Penelitian

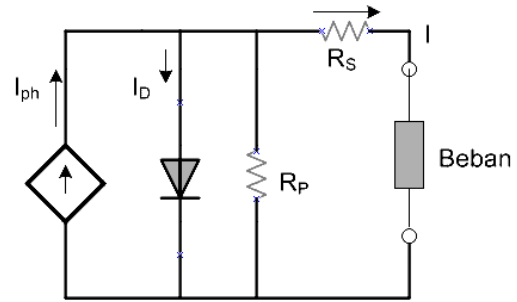
Tabel 1 Spesifikasi modul surya yang digunakan [1]

Peak Power	$P_{max}$	190.0 Wp
Output Tolerance		$\pm 3\%$
Open Circuit Voltage	$V_{oc}$	48.2 V
Short Circuit Current	$I_{sc}$	6.71 A
Max. Power Voltage	$V_{mp}$	37.08 V
Max. Power Current	$I_{mp}$	5.16 A
Cell Efficiency		18.0 %
Module Efficiency		14.88 %
Maximum System Voltage		DC1000 V
Seris Fuse Rating		15 A
Model Type		BLD180-72M
Weight		15.5 Kg
Dimension		1580x808x35 mm
Cell Technology		Monocrystalline
Cells		6x12
Temp. Coeff of $I_{sc}$		+0.037 %/ K
All technical data at standard test condition AM =1,5 E= 1000/m <sup>2</sup> T <sub>c</sub> = 25 <sup>o</sup> C		

Objek yang diteliti pada penelitian ini adalah modul surya dengan spesifikasi seperti tercantum dalam tabel 1. Penelitian ini dimulai dengan melakukan estimasi parameter modul surya menggunakan model rangkaian ekuivalen satu diode dilanjutkan dengan membuat simulasi hubungan daya versus tegangan modul berdasarkan nilai parameter yang diperoleh dari hasil estimasi. Karena hubungan arus dan tegangan model satu diode bersifat nonlinear maka metode Newton Raphson digunakan untuk estimasi parameter modul surya, parameter yang diestimasi ada 3, yaitu: arus foton (*photocurrent*), resistansi seri dan resistansi paralel.

Rangkaian ekuivalen modul surya untuk model yang menggunakan satu diode dengan resistansi seri dan paralel diperlihatkan pada gambar 1. Pada gambar 1, modul direpresentasikan sebagai sumber arus tidak tetap dengan arus  $I_{ph}$  yang besarnya berubah tergantung iradiasi matahari yang jatuh ke permukaan sel surya.

Hubungan arus dan tegangan pada modul surya atau modul *photovoltaic* dengan jumlah sel seri  $N_s$  yang menyusun modul dinyatakan dengan (1)



Gambar 1 Rangkaian ekuivalen modul surya model satu diode

$$I = I_{ph} - I_D \left( \left[ e^{\frac{q}{AkT_c N_s} (V + I R_s)} - 1 \right] \right) - \frac{V + I R_s}{R_p} \quad (1)$$

Dimana

$q$ : Muatan elementer elektron ( $1.602 \cdot 10^{-19}$  coulomb )

$T_c$ : Temperatur sel (K)

$k$ : Konstanta Boltzman ( $1.381 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$ )

$A$ : Faktor keidealitan diode ( tanpa dimensi)

$R_s$ : Resistansi seri modul ( $\Omega$ )

$R_p$ : Resistansi shunt atau paralel modul ( $\Omega$ )

$V$ : Tegangan keluaran modul (V)

$I$ : Arus beban (A)

$I_{ph}$ : Arus foton ( photocurrent) (A)

$I_D$ : Arus balik diode saturasi (A)

Sebagaimana diperlihatkan pada gambar 1, arus foton yang dihasilkan oleh sumber arus bergantung pada penyinaran atau iradiasi matahari (*solar irradiation*) yang sampai pada permukaan sel surya, dan posisi modul ditempatkan. Iradiasi matahari diukur dalam dalam daya persatuan luas ( $W/m^2$ ). Pada rangkaian ekuivalen gambar 1, terdapat juga resistansi seri dan paralel. Oleh sebab itu dalam kondisi berbeban maka ada arus listrik yang mengalir pada kedua resistansi tersebut. Daya yang terpakai pada resistansi seri dan paralel merupakan rugi daya internal bagi modul surya. Besar rugi daya internal pada modul dirumuskan dengan (2).

$$P_L = I^2 R_s + \frac{(V + I R_s)^2}{R_p} \quad (2)$$

Metode Newton-Raphson [2]

Pada metode Newton Raphson (NR), elemen sebelah kiri himpunan dengan  $n$  persamaan yang mengandung  $n$  variabel diperluas dengan deret Taylor sekitar titik estimasi awal dan mengabaikan semua suku yang lebih tinggi.

$$\begin{aligned} f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) &= c_1 \\ f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) &= c_2 \\ &\dots \\ f_n(x_1, x_2, \dots, x_n) &= c_n \end{aligned} \quad (3)$$

Algoritma metode Newton-Raphson mengikuti alur berikut

$$\begin{aligned} X^{(k+1)} &= X^{(k)} + \Delta X^{(k)} \\ \Delta X^{(k)} &= [J^{(k)}]^{-1} + \Delta C^{(k)} \end{aligned} \quad (4)$$

dimana

$$\Delta X^{(k)} = \begin{bmatrix} \Delta x_1^k \\ \Delta x_2^k \\ \vdots \\ \Delta x_n^k \end{bmatrix}, \quad \Delta X^{(k)} = \begin{bmatrix} c_1 - (f_1)^k \\ c_2 - (f_2)^k \\ \vdots \\ c_n - (f_n)^k \end{bmatrix}$$

$J^{(k)}$  disebut sebagai matriks *Jacobi*. Elemen dari matriks ini berisi turunan parsial yang dihitung pada  $x^{(k)}$ . Diasumsikan bahwa  $J^{(k)}$  mempunyai invers pada setiap iterasi.

Untuk estimasi variabel  $I_{ph}$ ,  $R_s$  dan  $R_p$  modul surya tipe BLD180-72M menggunakan metode NR maka perlu membentuk tiga fungsi yang secara umum dituliskan seperti pada (5).

$$\begin{aligned} f_1 &= I_{ph} - I_D \left( \left[ e^{\lambda(V_1 + I_1 R_s)} - 1 \right] \right) - \frac{V_1 + I_1 R_s}{R_p} - I_1 = 0 \\ f_2 &= I_{ph} - I_D \left( \left[ e^{\lambda(V_2 + I_2 R_s)} - 1 \right] \right) - \frac{V_2 + I_2 R_s}{R_p} - I_2 = 0 \\ f_3 &= I_{ph} - I_D \left( \left[ e^{\lambda(V_3 + I_3 R_s)} - 1 \right] \right) - \frac{V_3 + I_3 R_s}{R_p} - I_3 = 0 \end{aligned} \quad (5)$$

$$\text{dan } \lambda = \frac{q}{A k T_C N_s}$$

Persamaan (5) membutuhkan data tegangan dan arus, dimana titik  $(V_1, I_1)$ ,  $(V_2, I_2)$  dan  $(V_3, I_3)$  diperoleh dari data teknis. Ketiga data tersebut adalah data arus dan tegangan pada kondisi hubung pendek  $(0, I_{SC})$ , rangkaian terbuka  $(V_{OC}, 0)$ , dan kondisi daya maksimum  $(V_{mp}, I_{mp})$  dan nilainya tercantum dalam tabel 1. Estimasi parameter  $I_{ph}$ ,  $R_s$  dan  $R_p$  mula-mula diproses dengan menggunakan data yang disebutkan sebelumnya. Apabila estimasi parameter tidak berhasil, maka data diganti dengan menggunakan titik dekat  $(V_{OC}, 0)$ , titik dekat  $(V_{mp}, I_{mp})$ , dan titik dekat  $(0, I_{SC})$ , dalam hal ini sebuah program komputer (MATLAB) disiapkan untuk menelusuri titik-titik dekat  $(V_{OC}, 0)$ , titik dekat  $(V_{mp}, I_{mp})$ , dan titik dekat  $(0, I_{SC})$  yang memenuhi persamaan (5).

Dalam penelitian ini, estimasi parameter modul surya tipe BLD180-72M dilakukan dengan nilai referensi iradiasi matahari 1000 W/m<sup>2</sup>, spektrum pada massa udara 1,5, dan temperatur sel 25 °C. Koreksi nilai  $I_{ph}$ ,  $R_s$  dan  $R_p$  terhadap perubahan temperatur dan iradiasi matahari dinyatakan dengan (6) dan (7) [3].

$$I_{ph} = I_{ph\ ref} \frac{G}{G_{ref}} + \frac{\alpha_T}{I_{ph\ ref}} (T - T_{ref}) \quad (6)$$

Dimana  $\alpha_T$  adalah koefisien temperatur mutlak dari arus hubung singkat. Nilai  $\alpha_T$  untuk modul surya BLD180-72M sesuai yang tercantum dalam tabel 1 adalah +0.037 %/ K. Nilai  $G_{ref}$  dan  $T_{ref}$  pada (6) berturut turut adalah 1000 W/m<sup>2</sup> dan 25 °C (atau 298°K) .

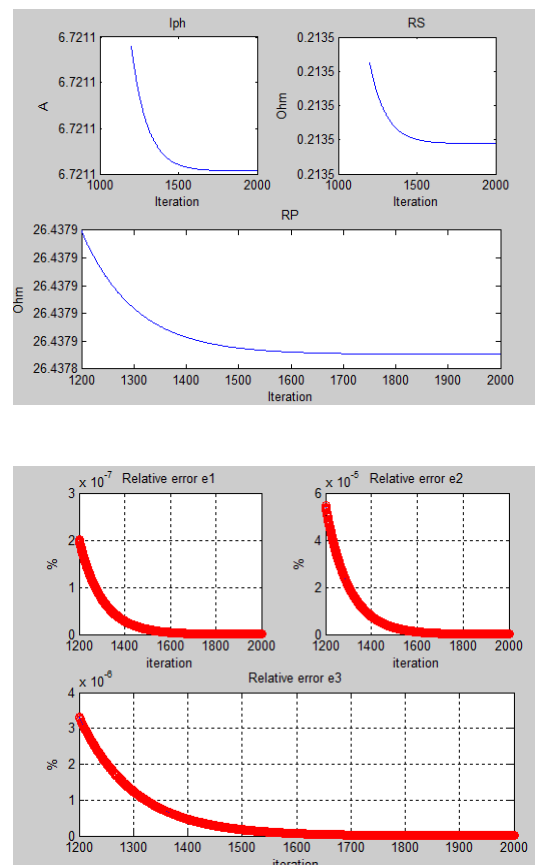
$$R_p = R_{p,ref} \left( \frac{G}{G_{ref}} \right) \quad (7)$$

$$R_s = R_{s,ref}$$

Pada (7)  $R_{p,ref}$  dan  $R_{s,ref}$  masing-masing adalah nilai resistansi seri dan paralel modul pada kondisi referensi  $(G_{ref}, T_{ref})$ , sedangkan  $R_p$  dan  $R_s$  adalah resistansi seri dan paralel modul pada kondisi iradiasi matahari tertentu.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN HASIL

Proses estimasi parameter  $I_{ph}$ ,  $R_s$ , dan  $R_p$  modul surya dengan spesifikasi yang tercantum dalam tabel 1, dimulai dengan membentuk tiga persamaan nonlinear seperti yang dinyatakan dalam (5) dengan menggunakan tiga data teknis, yaitu  $(0, V_{OC})$ ,  $(V_{mp}, I_{mp})$  dan  $(I_{SC}, 0)$ . Akan tetapi hasil estimasi parameter dengan metode NR menggunakan ketiga data yang disebutkan, hasilnya tidak sukses. Proses estimasi parameter dicoba lagi dengan metode *trial* dan *error* dengan menggunakan data arus dan tegangan dekat titik arus hubung singkat, titik daya maksimum, dan dekat titik daya maksimumnya, yaitu titik  $\{(6.292, 10), (5.16, 37.08), (5.2, 36)\}$ . Hasil estimasi parameter  $I_{ph}$ ,  $R_s$ , dan  $R_p$  menggunakan data yang baru disebutkan berhasil, hasilnya dicantumkan dalam tabel 2.



Gambar 2 Konvergensi estimasi parameter  $I_{ph}$ ,  $R_s$ , dan  $R_p$  modul surya BLD180-72M

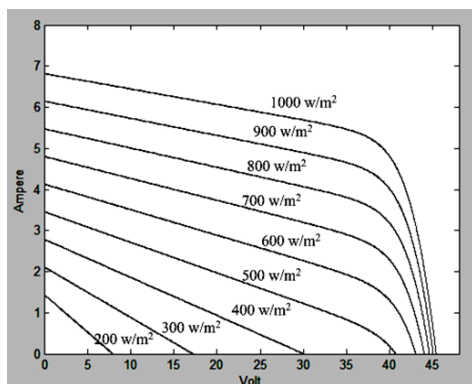
Tabel 2 Hasil estimasi parameter modul surya BLD180-72M (Nilai referensi)

$x_1$ ( $I_{ph}$ (A))	$x_2$ ( $R_S$ ( $\Omega$ ))	$x_3$ ( $R_P$ ( $\Omega$ ))	Tebakan awal [ $x_1, x_2, x_3$ ], iterasi
6.7211	0.2135	26.438	[1, 1.5, 1] > 1000
6.7211	0.2135	26.438	[6, 0.3, 2] > 1000
6.7211	0.2135	26.438	[10, 1.1, 2] > 1000

Tabel 3 Hasil estimasi parameter modul surya BLD180-72M ( $T= 48\ ^\circ\text{C}$ )

$I_{ph}$ (A)	$R_S$ ( $\Omega$ )	$R_P$ ( $\Omega$ )	$G$ (W/m <sup>2</sup> )
6.875093	0.2135	26.438	1000
6.202983	0.2135	23.7942	900
5.530873	0.2135	21.1504	800
4.858763	0.2135	18.5066	700
4.186653	0.2135	15.8628	600
3.514543	0.2135	13.219	500
2.842433	0.2135	10.5752	400
2.170323	0.2135	7.9314	300
1.498213	0.2135	5.2876	200

Pada gambar 2 dipelihatkan konvergensi metode NR untuk estimasi parameter arus foton, resistansi seri dan resistansi shunt modul surya tipe BLD180-72M menggunakan data yang disebutkan sebelumnya. Dengan kondisi kerja modul pada temperatur 25 °C, dan asumsi arus balik saturasi diode sel surya ( $I_D = 2.1008 \cdot 10^{-10}$  A), dan faktor keidealn diode ( $A= 1.025$ ) serta iradiasi matahari yang jatuh ke permukaan sel 1000 W/m<sup>2</sup> dan spektrum pada massa udara 1,5.



Gambar 3 Hubungan arus dan tegangan modul surya BLD180-72M

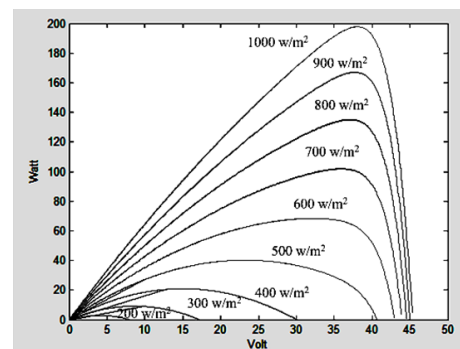
Pada gambar 2, terlihat bahwa nilai ketiga parameter tersebut untuk sampai ke keadaan tunaknya (*steady state*) memerlukan iterasi yang cukup banyak, yaitu diatas 1000 iterasi. Untuk modul yang bekerja pada temperatur 48 °C (*Nominal Operation Cell Temperatur, NOCT*), maka nilai arus foton yang tercantum dalam tabel 2 harus dikoreksi sesuai temperatur kerja dari modul dengan menggunakan persamaan (6). Hasilnya

dicantumkan dalam tabel 3. Dengan menggunakan nilai arus foton, resistansi seri dan resistansi paralel hasil estimasi maka dapat digambarkan hubungan arus dan tegangan dan hubungan daya dan tegangan modul surya untuk berbagai tingkati iradiasi matahari. Gambar 3 dan 4 diperlihatkan hubungan arus dan tegangan serta hubungan daya dan tegangan modul surya BLD180-72M

Tabel 4 Perbandingan nilai  $I_{SC}$ ,  $I_{mp}$ ,  $V_{mp}$  dan  $V_{OC}$  estimasi dan data teknis

	Data teknis	Estimasi
Arus hubung singkat	$I_{SC} = 6.71$ A	$I_{SC} = 6.67$ A
Teg. dan arus pada daya maksimum	$I_{mp} = 5.16$ A	$I_{mp} = 5.06$ A
	$V_{mp} = 37.08$ V	$V_{mp} = 37.97$ V
Tegangan rangkaian terbuka	$V_{OC} = 48.20$ V	$V_{OC} = 45.31$ V

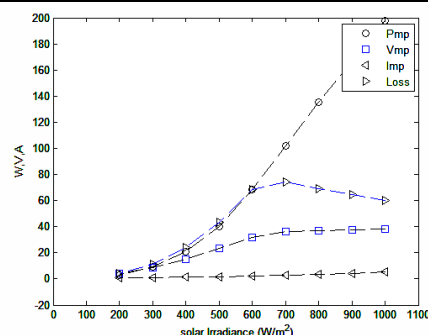
Perbandingan hasil estimasi dengan data teknis besar arus hubung singkat, tegangan puncak dan arus puncak serta tegangan rangkaian terbuka modul surya BLD180-72M dicantumkan dalam tabel 4.



Gambar 4 Hubungan daya dan tegangan modul surya BLD180-72M

Tabel 5 Daya, tegangan, dan arus puncak serta rugi daya modul surya BLD180-72M ( $T= 48\ ^\circ\text{C}$ ) untuk berbagai iradiasi matahari

$G$ (W/m <sup>2</sup> )	$P_{out}$ (W)	$V$ (Volt)	$I$ (A)	Loss (W)
1000	197.81	38.04	5.2	59.99659
900	167.01	37.7	4.43	64.6559
800	135.09	37.01	3.65	69.25731
700	101.91	36.01	2.83	73.9967
600	68.352	32.09	2.13	68.15036
500	40.188	23.23	1.73	43.39469
400	20.948	15.18	1.38	23.7918
300	9.1	8.75	1.04	11.16611
200	2.8543	3.91	0.73	3.2402



Gambar 5 Hubungan iradiasi matahari dengan  $P_{mp}$ ,  $V_{mp}$ ,  $I_{mp}$  dan rugi daya internal modul surya BLD180-72M

Besar daya, tegangan, dan arus puncak serta rugi daya modul surya BLD180-72M untuk berbagai iradiasi matahari pada temperature kerja 48 °C dicantumkan dalam tabel 5. Sebagaimana diketahui umumnya PLTS selalu dilengkapi peralatan pelacak titik daya maksimu dari modul yang dioperasikan ( MPPT, *Maximum Power Point tracker*). Fungsi MPPT adalah mengoperasikan modul surya agar selalu berda dalam kondisi daya maksimumnya meskipun penyinaran matahari ke sel surya berubah-ubah. Sebagai contoh jika iradiasi matahari yang jatuh pada permukaan sel surya sebesar 900 W/m<sup>2</sup>, maka berdasarkan tabel 5 MPPT harus mengatur arus beban yang mengalir dari modul surya BLD180-72M sebesar 4.45 A. Untuk arus beban 4.43 A maka tegangan modul adalah 37.7 V, dan dayanya 167.01 W. Apabila terjadi kesalahan pengaturan pada MPPT, misalnya MPPT mengatur arus keluaran modul hanya sebesar 3 A pada kondisi penyinaran matahari pada sel sebesar 900 W/m<sup>2</sup>, maka tegangan modul akan sebesar 42.25 V dan dayanya 126.75 W (lihat gambar 4), dan hal ini berarti modul tidak beroperasi pada kondisi daya maksimumnya. Data pada tabel 5, untuk kondisi penyinaran matahari yang kurang baik (G = 400 W/m<sup>2</sup>) modul masih mampu menyalurkan daya maksimumnya sekitar 21 W.

Berdasarkan data dalam tabel 5 dan gambar 5, untuk iradiasi matahari yang jatuh pada permukaan sel sebesar sebesar 600 W/m<sup>2</sup>, apabila modul dibebani dengan daya maksimumnya maka dihasilkan rugi daya internal hampir sama dengan daya keluaran modul.

#### IV.KESIMPULAN

Estimasi parameter modul surya tipe BLD180-72M dengan daya 190 Wp telah dipresentasikan pada tulisan ini menggunakan metode Newton Raphson. Berdasarkan hasil estimasi pada kondisi kerja modul 25 °C dan iradiasi matahari 1000 W/m<sup>2</sup>, spektrum pada massa udara 1,5 dan asumsi arus balik saturasi diode sel surya ( $I_D = 2.1008 \cdot 10^{-10}$  A), dan faktor keidealitan diode ( $A= 1.025$ ) didapat arus foton (*photocurrent*) sebesar 6.7211A, resistansi seri 0.2135 Ω dan resistansi paralel sebesar 26.438 Ω. Perbandingan nilai arus hubung singkat, tegangan dan arus puncak serta tegangan rangkaian terbuka modul surya hasil estimasi tidak jauh berbeda dengan data teknis yang diinformasikan oleh pabrik pembuatnya.

Berdasarkan kurva daya keluaran versus tegangan dari modul surya yang diteliti, diperoleh hasil bahwa untuk iradiasi matahari sebesar 600 W/m<sup>2</sup>, daya yang dihasilkan modul maksimum sekitar 70 W, dan untuk iradiasi matahari sebesar 700 W/m<sup>2</sup> daya keluaran maksimum sekitar 102 W, dan untuk iradiasi matahari 1000 W/m<sup>2</sup>, modul surya BLD180-72M menghasilkan daya keluaran maksimum sekitar 198 W.

#### REFERENSI

- [1] Datasheet-photovoltaic, Available in: <https://www.yumpu.com/en/document/read/3699673/datasheet-photovoltaic-modules-greenstart>
- [2] Saadat, Hadi. *Power system analysis*. 3<sup>rd</sup> edition. PSA Publishing LLC. January 1, 2011.
- [3] Premkumar, Manoharan, Chandrasekaran Kumar, and Ravichandran Sowmya. "Mathematical Modelling of Solar Photovoltaic Cell/Panel/Array Based on the Physical Parameters from the

- Manufacturer's Datasheet." *International Journal of Renewable Energy Development* 9.1 (2020).
- [4] Petrone, Giovanni, et al. *Photovoltaic sources modeling*. John Wiley & Sons, Incorporated, 2017.
  - [5] Reis, L. R. D., J. R. Camacho, and D. F. Novacki. "The Newton Raphson method in the extraction of parameters of PV modules." *International Conference on Renewable Energies and Power Quality*. Vol. 1. No. 15. 2017.
  - [6] Hafid, Abdul, et al. "Analisa pembangkit listrik tenaga surya pulau balang lombo." *Jurnal Litek: Jurnal Listrik Telekomunikasi Elektronika* 14.1 (2017): 6-12.
  - [7] Chapra, Steven C., and Raymond P. Canale. *Numerical methods for engineers*. Vol. 2. New York: Mcgraw-hill, 2011.
  - [8] Rodrigues, P., J. R. Camacho, and F. B. Matos. "The application of trust-region method to estimate the parameters of photovoltaic modules through the use of single and double exponential models." *International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'11)*. 2011.
  - [9] Idris, Ahmad Rosyid, and Irfan Syamsuddin. "Pemodelan dan Simulasi Photovoltaic Menggunakan Pendekatan Model Tiga Diode." *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi* 9.4 (2020): 423-429.
  - [10] Pratiwi, Armadilla Sukma, Syechu Dwitya Nugraha, and Epyk Sunarno. "Desain dan Simulasi Bidirectional DC-DC Converter untuk Penyimpanan Energi pada Sistem Fotovoltaik." *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi* 9.3 (2020): 305-310.
  - [11] Ramos-Hernanz, J. A., et al. "Obtaining the characteristics curves of a photocell by different methods." *International Conference on Renewable Energies and Power Quality*. Vol. 11. 2013.
  - [12] Banu, Ioan-Viorel, and Marcel Istrate. "Modeling and simulation of photovoltaic arrays." *Buletinul AGIR* 3 (2012): 161-166.
  - [13] PUKHREM, Shivananda. A photovoltaic panel model in matlab/simulink. *Dublin Institute of Technology, Faculty of Electrical Engineering*, 2013.
  - [14] Ahmadi, Mohammad Hossein, et al. "Solar power technology for electricity generation: A critical review." *Energy Science & Engineering* 6.5 (2018): 340-361.