

# PENENTUAN DAYA MAKSIMUM PHOTOVOLTAIK DENGAN METODE GROUP

Harsono Hadi

Pusat Teknologi Konversi dan Konservasi Energi (PTKKE)  
 Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT)  
 JL. MH Thamrin No. 8, Gedung II, Lantai 20, Jakarta  
 E-mail: harsono50@yahoo.com

## Abstract

The maximum power point (MPP) is equivalent to maximum  $I \times V$  at the  $I$ - $V$  curve under  $G$  and  $T$  conditions. Characteristic and performance of the solar cell, module photovoltaic and solar generator of the photovoltaic system is possible to be evaluated through the MPP. The relationship among model, parameters and constants are expressed by a mathematical model of the exponential equation. Calculation of the MPP value at the intensity irradiation ( $G$ ) and the cell temperature ( $T$ ), the maximum voltage ( $V_{max}$ ) are fixed firstly by the current output equal to zero. The voltage output ( $V_{out}$ ) is slowly dropped step by step ( $V = V_{max} - n \Delta V$ , where  $n = 1, 2, 3, \dots, m$ ) and the current output ( $I$ ) is founded. The  $MPP_n (I_{out} \times V_{out})$  must be compared to the previous value of the  $MPP_{n-1}$  or  $MPP_n - MPP_{n-1} \geq 0$  Calculating process: the current-voltage ( $I$ - $V$ ) output, the MPP value is relative complicated and involves measured datum at the various irradiation and cell temperature. To simplify the calculation of the MPP and  $I$ - $V$  output, the group method is used to allocate the each datum [ $G_n, T_n, I_n(I_{n1}, I_{n2}, I_{n3}, \dots, I_{nm}), V_n(V_{n1}, V_{n2}, V_{n3}, \dots, V_{nm}), MPP_n, Q_n, H_n, \dots$  etc] in its dimensions [ $\{G_1, G_2, G_3, \dots, G_n\}, \{T_1, T_2, T_3, \dots, T_n\}, \{I_1, I_2, I_3, \dots, I_n\}, \{V_1, V_2, V_3, \dots, V_n\}, \{MPP_1, MPP_2, MPP_3, \dots, MPP_n\}, \{Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_n\}$ , etc].

**Kata kunci** : model, nilai parameter, arus-tegangan, daya maksimum, MPP dan pengelompokan.

## 1. PENDAHULUAN

Solar sel berfungsi mengubah energi photon menjadi energi listrik. Secara matematis dapat dituliskan secara persamaan eksponensial – kontinyu sebagai berikut:

$$j = (C_0 + C_1 T)G - C_{01} T^3 \exp \left[ -\frac{e_0 U_{gap}}{kT} \right] \left[ \exp \left( \frac{e_0 (V_c + j r_s)}{\alpha kT} \right) - 1 \right] - C_{02} T^{5/2} \exp \left[ -\frac{e_0 U_{gap}}{2 kT} \right] \left[ \exp \left( \frac{e_0 (V_c + j r_s)}{\beta kT} \right) - 1 \right] - \frac{V_c + j r_s}{r_{sh}} \quad (1)$$

dengan

$G$  radiasi matahari [ $W/m^2$ ],  $j$  rapat arus [ $A/m^2$ ].  $V_c$  tegangan solar sel [V],  $T$  temperatur solar sel (Kelvin),  $U_{gap}$  energi band gap [V],  $e_0$  muatan elektron [ $1,6021 \times 10^{-19}$  As],  $k$  konstanta Boltzman [ $1,3854 \times 10^{-23} JK^{-1}$ ],  $r_s$  tahanan seri [ $\Omega$ ],  $r_{sh}$  tahanan shunt [ $\Omega$ ],  $\alpha$  diode pertama;  $\beta$  diode kedua;  $C_0, C_1, C_{01}$  dan  $C_{02}$  parameter solar sel.

Untuk mengetahui unjuk kerja sistem PV, salah satu indikator dengan mengetahui nilai MPP pada kondisi  $G$  &  $T$ . Nilai MPP bisa didapatkan dari hasil perkalian dari data pengukuran tegangan output ( $V$ ) dan arus output ( $I$ ) sehingga  $MPP = V \times I$  pada  $G$  &  $T$ . Nilai MPP yang satu lagi bisa didapatkan dengan menggunakan model. Kedua-dua cara tersebut pada kondisi  $G$  &  $T$  didapatkan dua nilai yaitu MPP pengukuran ( $MPP_p$ ) dan MPP model ( $MPP_M$ ). Nilai-nilai  $MPP_p$  dan  $MPP_M$  dibandingkan untuk mengetahui seberapa besar selisih kedua nilai tersebut. Selisih kedua nilai MPP tersebut menunjukkan bahwa pembebanan sistem PV sudah optimal atau belum. Penggunaan metode group bertujuan untuk memudahkan dalam perhitungan  $MPP_M$  pada kondisi  $G$  &  $T$ . Agar  $MPP_M$  bisa mewakili output MPP sistem PV, maka data pengukuran  $G$  &  $T$  digunakan sebagai data input model. Karena dalam perhitungan  $MPP_M$  model menggunakan data pengukuran  $G$  &  $T$  yang banyak dan berbeda-beda maka dibutuhkan suatu pengelompokan (grouping). Pengelompokan meliputi dari hasil perhitungan model antara lain :  $MPP_M$ , tegangan output PV ( $V_M$ ) dan arus output PV ( $I_M$ ).

## 2. BAHAN DAN METODE

### 2.1. Pengelompokan

Unjuk kerja sistem photovoltaik sangat dipengaruhi oleh intensitas radiasi (G) dan tempertur solar sel (T). secara alami radiasi matahari dari pagi hingga sore mempunyai intensitas yang berubah-ubah dengan nilai tertinggi kurang-lebih 1000 W/m<sup>2</sup> pada waktu sekitar 12.00.

Selain intensitas radiasi dan temperatur, unjuk kerja sistem photovoltaik juga dipengaruhi oleh besar-kecilnya beban. Untuk mengetahui bahwa pembebanan sudah atau belum optimum, dapat dibandingkan antara daya pembebanan dengan daya maksimum (MPP). Daya maksimum dapat dihitung dengan menggunakan model dan beberapa nilai parameternya. Nilai parameter model didapatkan dengan cara melakukan pengujian modul photovoltaik. Agar model dan nilai parameternya bisa benar-benar sesuai dengan modul photovoltaik, maka sebuah modul photovoltaik yang terpasang pada sistem photovoltaik diambil untuk dilakukan pengujian. Secara matematis daya maksimum dapat dituliskan sebagai berikut:

$$MPP_n = (V_{kl} \times I_{pq})_{maksimum} \quad (2)$$

dengan

$MPP_n = \{MPP_1, MPP_2, MPP_3, \dots, MPP_n\}$ ;  
 $V_{kl} = \{V_{11}, V_{12}, \dots, V_{21}, V_{22}, V_{23}, \dots, V_{kl}\}$  dan  $I_{pq} = \{I_{11}, I_{12}, I_{13}, \dots, I_{21}, I_{22}, I_{23}, \dots, I_{pq}\}$ .

Hubungan I-V dipengaruhi oleh intensitas radiasi (G) dan temperatur (T) sehingga dapat dituliskan dalam fungsi-fungsi matematik sebagai berikut :

$$f(MPP_1, MPP_2, \dots, MPP_n) = f(V_{11}, V_{12}, \dots, V_{kl}) f(I_{11}, I_{12}, \dots, I_{pq}) f(G_{1d}, G_{2d}, \dots, G_{td}) f(T_{1j}, T_{2j}, \dots, T_{ij}) \dots \dots \dots (3)$$

dengan

$$\begin{aligned} MPP_1 &= g_1(V_{11}, I_{1q}, G_{1d}, T_{1j}) \\ MPP_2 &= g_2(V_{21}, I_{2q}, G_{2d}, T_{2j}) \\ MPP_3 &= g_3(V_{31}, I_{3q}, G_{3d}, T_{3j}) \\ MPP_4 &= g_4(V_{41}, I_{4q}, G_{4d}, T_{4j}) \\ &\dots \dots \dots \\ MPP_n &= g_n(V_{kl}, I_{pq}, G_{td}, \dots, T_{ij}) \end{aligned}$$

Pada persamaan (3) untuk mendapatkan nilai MPP melibatkan parameter V, I, G dan T atau dapat ditulis sebagai fungsi sebagai berikut :  $MPP_n = g_n(V_{kl}, I_{pq}, G_{td}, T_{ij})$ .

Dari persamaan di atas terlihat untuk mendapatkan satu nilai MPP membutuhkan pasangan V dan I yang sesuai pada keadaan G & T. Untuk mendapatkan daya maksimum yang terbesar dalam program simulasi model , maka nilai MPP<sub>n</sub> harus selalu dibandingkan dengan nilai MPP<sub>n-1</sub> sebagai berikut :

$$MPP_{nm} - MPP_{nm-1} \geq 0 ?$$

dengan

$MPP_{nm} = \{MPP_{11}, MPP_{12}, MPP_{13}, \dots, MPP_{21}, MPP_{22}, MPP_{23}, \dots, MPP_{nm}\}$ .

Hubungan daya maksimum (MPP), tegangan (V), arus (I), radiasi (G) dan temperatur (T) lebih jelas dapat dilihat pada gambar 2. Setiap parameter di dalam program simulasi membutuhkan suatu ukuran dimensi yang sesuai dengan banyaknya data-data tersebut. Berdasarkan perhitungan persamaan model berupa eksponensial dan banyaknya data-data pengukuran pada kondisi G & T, maka dalam penyelesaiannya dibutuhkan suatu perangkat lunak dalam menyelesaikan perhitungan tersebut. Secara program komputer dengan menggunakan statement struct, maka struktur dan dimensi data dapat dituliskan sebagai berikut :

tersebut. Secara program komputer dapat dituliskan sebagai berikut:

```
struct data {float V[k][l], I[p][q], G[t][d], T[i][j]; }
MPP[n] ;
```

dengan

$$\begin{aligned} V_{[k][l]} &= \{V_{11}, V_{12}, V_{13}, \dots, V_{21}, V_{22}, V_{23}, \dots, V_{31}, V_{32}, \\ &\quad V_{33}, \dots, V_{kl}\}, \\ I_{[p][q]} &= \{I_{11}, I_{12}, I_{13}, \dots, I_{21}, I_{22}, I_{23}, \dots, I_{31}, I_{32}, \\ &\quad I_{33}, \dots, I_{pq}\}, \\ G_{[t][d]} &= \{G_{11}, G_{12}, G_{13}, \dots, G_{21}, G_{22}, G_{23}, \dots, G_{31}, \\ &\quad G_{32}, G_{33}, \dots, G_{td}\}, \\ T_{[i][j]} &= \{T_{11}, T_{12}, T_{13}, \dots, T_{21}, T_{22}, T_{23}, \dots, T_{31}, T_{32}, \\ &\quad T_{33}, \dots, T_{ij}\}, \end{aligned}$$

float artinya data/variabel yang terdapat di dalam statement struct berupa bilangan riil.

Untuk mendapatkan nilai MPP harus diselesaikan hubungan I-V pada persamaan model (1). Persamaan tersebut dapat dituliskan sebagai berikut :

$$j = a - b \left( \exp^{c_0 [V_c + j r_s]} - 1 \right)$$

$$-d_0 \left( \exp^{a_1 [V_c + j r_s]} - 1 \right) - \frac{V_c + j r_s}{r_{sh}} \quad (4)$$

dengan

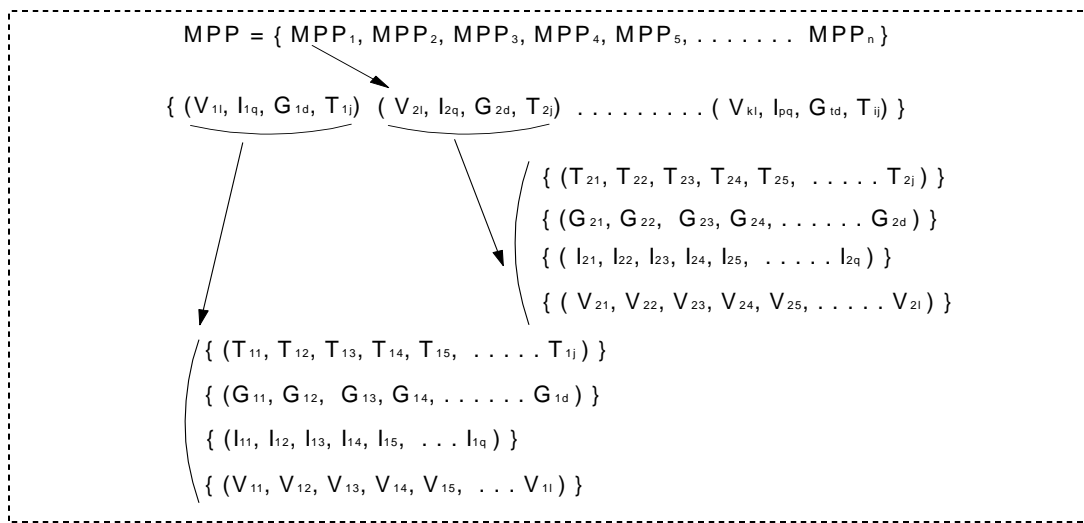
$$a_0 = (C_0 + C_1 T) G ; \quad b_0 = C_{01} T^3 \exp^{-\frac{e_0 U_{gap}}{kT}} ;$$

$$c_0 = \frac{e_0}{\alpha kT} \quad d_0 = C_{02} T^{5/2} \exp^{-\frac{e_0 U_{gap}}{2kT}} ;$$

$$a_1 = \frac{e_0}{\beta kT}$$

Untuk mendapatkan hubungan I-V output, maka pertama-tama harus dihitung nilai tegangan maksimum ( $V_{max}$ ) dengan memasukkan nilai  $j=0$  ke dalam persamaan (2), sehingga persamaan tersebut berubah menjadi sebagai berikut:

$$\Delta z = a_0 - b_0 \left( \exp^{c_0 V_{max}} - 1 \right) - d_0 \left( \exp^{a_1 V_{max}} - 1 \right) - \frac{V_{max}}{r_{sh}} \approx 0 \quad (5)$$



Gambar 2 : Daya maksimum (MPP) dengan beberapa parameter.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Perhitungan Arus-Tegangan (I-V)

Karena persamaan model solar sel merupakan persamaan eksponensial kontinu sehingga salah satu penyelesaian dapat menggunakan metode iterasi. Untuk menghitung nilai  $V_{max}$ , pertama-tama dengan menentukan nilai  $V_{max}$  sebagai berikut:

$$V_{max} = p 10^{-k} \quad (6)$$

$k = \dots -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, \dots$  dan

$p = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, \dots 30.$

$\Delta z = \epsilon_0.$

Dengan substitusi persamaan (6) & (5) dan dengan memasukkan nilai  $p$  dan  $k$  maka didapatkan nilai  $V_{max}$  yang berbeda-beda, seperti pada tabel 1. Nilai sisa ( $\Delta z$ ) berbeda-beda dengan nilai  $p, k$  dan  $V_{max}$  yang berbeda-beda pula. Nilai tegangan maksimum yang tepat adalah  $V_{max} = 0.59$  yang didasarkan pada nilai  $\Delta z$  yang terkecil dan positif ( $\Delta z = 12,0335532789228$ ).

Tabel 1. Awal iterasi mendapatkan  $V_{max}$ ,  $j = 0.00$  pada  $G = 1000 \text{ Wm}^{-2}$  dan  $T = 25^\circ\text{C}$

p	$V_{max}$	$\Delta z$
1	0.5100	436.4458337053520
2	0.5200	427.1780903201110
3	0.5300	413.4698185138200
4	0.5400	393.1902275489210
5	0.5500	363.1859788900780
6	0.5600	318.7904629641240
7	0.5700	253.0975750768680
8	0.5800	155.8869721026720
<b>9</b>	<b>0.5900</b>	<b>12.0335532789228</b>
10	0.6000	-200.8463591676600
11	0.6100	-515.8784524115160
12	0.6200	-982.0855773063650
13	0.6300	-1672.0168951537000
14	0.1400	456.1686093091610
15	0.1500	456.1575992480700
16	0.1600	456.1465799529530
17	0.1700	456.1355494189220
18	0.1800	456.1245050025170
19	0.1900	456.1134431584110
20	0.2000	456.1023590555000
21	0.2100	456.0912460152760
22	0.2200	456.0800946880710
23	0.2300	456.0688918423400

24	0.2400	456.0576185824170
25	0.2500	456.0462477217100
26	0.2600	456.0347399074870
27	0.2700	456.0230378997200
28	0.2800	456.0110581199870
29	0.2900	455.9986781623860
30	0.3000	455.9857183309660

Untuk menambah ketelitian nilai  $V_{max}$  dengan memperkecil nilai  $\Delta z$  maka dilakukan iterasi dengan memasukkan nilai  $V_{max}$  sebagai berikut:

$$V_{max} = p 10^k + q 10^{k-1} \quad (7)$$

$$q = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, \dots, 30,$$

$$\Delta z = \epsilon_1$$

Nilai  $q$  &  $k-1$  pada persamaan (7) diubah-ubah dan dimasukkan ke dalam persamaan (5) maka diperoleh nilai  $\Delta z$  yang berbeda-beda pula. Nilai  $V_{max}$  dipilih berdasarkan nilai  $\Delta z$  yang terkecil ( $\Delta z = \epsilon_1$ ) seperti pada Tabel 2. Untuk mendapatkan nilai  $V_{max}$  yang lebih teliti lagi, maka iterasi dilakukan dengan terus-menerus secara bertingkat. Secara persamaan matematis penentuan nilai iterasi selanjutnya dapat dituliskan dalam persamaan sebagai berikut:

$$V_{max} = p 10^{-k} + q 10^{-k-1} + r 10^{-k-2} + \dots + u 10^{-k-5} + \dots \quad (8)$$

$$u = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, \dots, 30,$$

$$\Delta z = \epsilon \dots$$

Dari iterasi bertahap didapatkan nilai  $V_{max}$  yang lebih teliti dan nilai  $\Delta z$  sekecil-kecilnya ( $\Delta z \approx 0$ ) seperti yang tertera pada tabel 2.. Pada tabel tersebut terlihat bahwa derajat ketelitian semakin tinggi dengan nilai sisa semakin kecil mendekati nol atau  $\epsilon_0 \geq \epsilon_1 \geq \epsilon_2 \geq \epsilon_3 \geq \epsilon_4 \dots \approx 0$ .

Tabel 2. Tingkat ketelitian  $V_{max}$  ( $j = 0.00$ )

Tk	Nilai	$V_{max}$	$\Delta z$
1	q = 0	0.5900000000	12.03355327892
2	r = 6	0.5906000000	1.47710369159
3	s = 8	0.5906800000	0.05072748019
4	t = 2	0.5906820000	0.01501074126
5	u = 8	0.5906828000	0.00072326176
6	v = 4	0.5906828400	0.00000887601
7	w = 0	0.5906828400	0.00000887601
8	x = 4	0.5906828404	0.00000173215

Tk = Tingkat ketelitian

Untuk mendapatkan I-V output, tegangan output ( $V_c$ ) didapatkan dengan  $V_{max}$  diturunkan secara bertahap ( $V_c = V_{max} - n \text{ dV}$ ) dan nilai  $V_c$  dimasukkan ke dalam persamaan (2) sehingga dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\Delta z = a_0 - j - b_0 \left( \exp^{c_0 [V_c + j r_s]} - 1 \right) - d_0 \left( \exp^{a_1 [V_c + j r_s]} - 1 \right) - \frac{V_c + j r_s}{r_{sh}} \quad (9)$$

Salah satu cara untuk mendapat nilai rapat arus ( $j$ ), ketika tegangan  $V_c = 0.2554$  volt dengan menggunakan iterasi awal sebagai berikut:

$$j = p 10^{-k} \quad (10)$$

$$k = \dots -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, \dots \text{ dan}$$

$$p = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, \dots, 30,$$

$$\Delta z = \epsilon_0.$$

Nilai  $j$  pada persamaan (10) dengan menjalankan nilai  $k$  &  $p$  dan disubstitusikan ke dalam persamaan (9), didapat nilai  $\Delta z$  seperti yang tertera pada tabel 3. Berdasarkan nilai  $\Delta z$  terkecil & positif, maka didapatkan bahwa nilai-nilai:  $k = -2$ ,  $p = 4$ ,  $\Delta z = 55.9716354928070$  dan  $j = 400 \text{ A/m}^2$ .

Tabel 3. Iterasi awal  $j$  pada  $V_c = 0.2554$  volt

p	j	$\Delta z$
1	100.00	356.0239661452600
2	200.00	256.0075474117100
3	300.00	155.9902898729970
4	400.00	55.9716354928070
5	500.00	-44.0493622542419
6	600.00	-144.0743122604280
7	700.00	-244.1059533910610
8	800.00	-344.1489529748400
9	900.00	-444.2112704608720
10	1000.00	-544.3064864352770
11	1100.00	-644.4577805978060
12	1200.00	-744.7047264150340
13	1300.00	-845.1148971341410
14	1400.00	-945.8036904687660
15	1500.00	-1046.9681923231900
16	160.00	296.0141932172520
17	170.00	286.0125427193510
18	180.00	276.0108851646880
19	190.00	266.0092201898130
20	200.00	256.0075474117100
21	210.00	246.0058664267280
22	220.00	236.0041768094580
23	230.00	226.0024781115360
24	240.00	216.0007698603950
25	250.00	205.9990515579390
26	260.00	195.9973226791450
27	270.00	185.9955826705940
28	280.00	175.9938309489140
29	290.00	165.9920668991430
30	300.00	155.9902898729970

Untuk mendapatkan nilai  $j$  yang lebih akurat berarti nilai  $\Delta z$  harus diperkecil serendah-

rendahnya ( $\Delta z \approx 0$ ), maka iterasi nilai  $j$  dapat dalam persamaan sebagai berikut:

$$j = p 10^{-k} + q 10^{-k-1} \quad (11)$$

$q = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, \dots, 30,$

$$\Delta z = \epsilon_1$$

Nilai  $q$  dijalankan sehingga didapatkan nilai  $j$  yang berbeda-beda pada persamaan (11) dan disubstitusikan ke dalam persamaan (9). Berdasarkan nilai  $\Delta z$  ( $\Delta z \approx \epsilon_1$ ) terkecil dan positif, nilai  $q$  yang sesuai dapat ditentukan.

Untuk mendapatkan nilai  $j$  yang lebih akurat lagi, maka iterasi dilakukan secara bertahap sesuai dengan tingkat akurasi yang diinginkan. Tingkat iterasi dapat dituliskan dalam persamaan sebagai berikut:

$$j = p 10^{-k} + q 10^{-k-1} + r 10^{-k-2} + \dots + u 10^{-k-5} + \dots \quad (12)$$

$u = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, \dots, 30,$

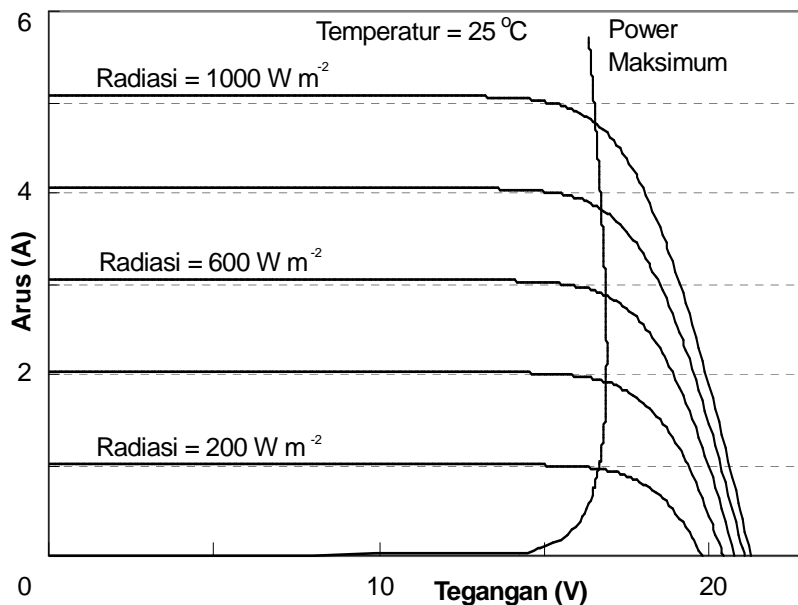
$$\Delta z = \epsilon \dots$$

Dari iterasi bertahap didapatkan nilai  $j$  mendekati nilai yang sebenarnya dengan tingkat nilai  $\Delta z$  mendekati nol ( $\epsilon_0 \geq \epsilon_1 \geq \epsilon_2 \geq \epsilon_3 \geq \epsilon_4 \dots \approx 0$ ), seperti yang tertera pada tabel 4.

Tabel 4. Derajat keakuratan  $j$  pada  $V_c = 0.2554$  V

Tk	Nilai	$j$	$\Delta z$
1	$q = 5$	450.0000000	5.961510295569
2	$r = 5$	455.0000000	0.960459907239
3	$s = 9$	455.9000000	0.060270033080
4	$t = 6$	455.9600000	0.000257365987
5	$u = 0$	455.9600000	0.000257365988
6	$v = 2$	455.9602000	0.000057323763
7	$w = 5$	455.9602500	0.000007313206
8	$x = 7$	455.9602570	0.000000311728
9	$y = 3$	455.9602573	0.000000011665

Tk = Tingkat ketelitian



Gambar 3: Karakteristik dan garis MPP modul photovoltaik

Tegangan output ( $V_c$ ) atau ( $V_c = V_{max} - n$  dV) terus diturunkan secara bertahap sampai  $V_c = 0$  dan  $j$  mencapai maksimum.

Hasil perhitungan nilai MPP modul photovoltaik dengan keadaan  $G$  yang berbeda-beda pada temperatur sel ( $T = 25^\circ\text{C}$ ), dapat dilihat pada tabel 5.

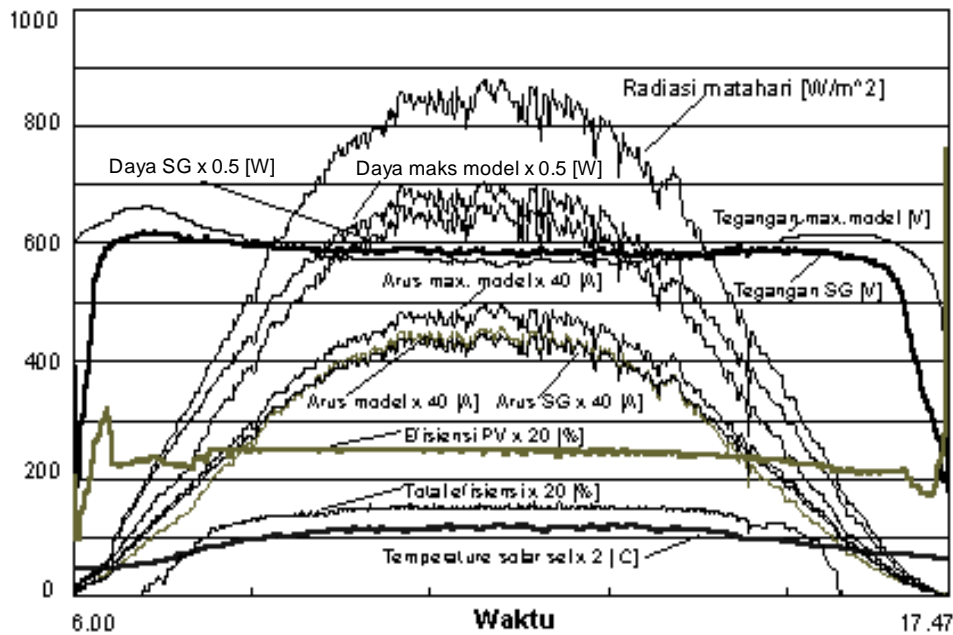
Tabel 5. Nilai MPP (daya maksimum) sebuah module photovoltaik

$G$ $\text{W/m}^2$	$V$ Volt	$I$ Amp	$P_{maksimum}$ Watt
0	0	0	0
50	15.7142	0.234621	3.68688
100	16.2396	0.474663	7.70833
150	16.5059	0.714728	11.79723
200	16.6643	0.954820	15.91141
250	16.7650	1.194805	20.03091
300	16.8298	1.434621	24.14439
350	16.8730	1.673926	28.24416
400	16.8945	1.913324	32.32466

450	16.9017	2.152581	36.38228
500	16.8981	2.391616	40.41377
550	16.8873	2.630184	44.41671
600	16.8693	2.868473	48.38913
650	16.8441	3.106691	52.32941
700	16.8153	3.344347	56.23619
750	16.7829	3.581523	60.10834
800	16.7469	3.818311	63.94487
850	16.7037	4.055685	67.74495
900	16.6605	4.292059	71.50785
950	16.6172	4.527387	75.23250

1000	16.5668	4.763698	78.91923
1050	16.5164	4.999099	82.56712
1100	16.4660	5.233558	86.17576

Dari tabel 5 dapat digambarkan unjuk kerja dan daya maksimum (MPP) modul photovoltaik dengan intensitas radiasi matahari yang berbeda-beda pada temperatur sel ( $T = 25^{\circ}\text{C}$ ), seperti yang terlihat pada gambar 3.



Gambar 4. Unjuk kerja dan MPP sistem pompa piston photovoltaik.

### 3.2. Aplikasi Model

Perhitungan daya maksimum (MPP) suatu modul photovoltaik dapat digunakan untuk mengevaluasi unjuk kerja sistem-sistem photovoltaik. Caranya salah satu modul photovoltaik yang terpasang pada sistem photovoltaik dilakukan pengujian untuk mendapatkan nilai parameter-parameter model yang sesuai. Nilai parameter-parameter model tersebut dan data-data pengukuran : radiasi matahari ( $G$ ), temperatur sel ( $T$ ), tegangan output solar generator ( $V$ ) dan arus output solar generator ( $I$ ) digunakan sebagai input model, maka didapatkan nilai MPP. Nilai MPP dibandingkan dengan daya output solar generator ( $V \times I$ ), maka akan terlihat selisih besar-kecil kedua nilai tersebut. Untuk menunjukkan hal tersebut, sistem yang dievaluasi adalah sistem pompa piston photovoltaik (PVP-piston). Sistem PVP-piston terdiri dari : solar generator 2040 Wp,

dc-dc konverter 550 W, motor dc 500 W dan pompa piston. Untuk memudahkan evaluasi dan analisa unjuk kerja sistem PVP-piston & MPP output solar generator ditampilkan dalam bentuk grafik, seperti yang terlihat pada gambar 4. Pada gambar tersebut tampak bahwa nilai MPP dan daya output solar generator mempunyai selisih relatif kecil ( $< 5\%$ ). Dengan kecilnya selisih kedua nilai tersebut, maka bisa dikatakan bahwa pembebanan sistem PVP-piston sudah optimum.

### 4. KESIMPULAN

- Penggunaan metode group memudahkan dalam pengelompokan data-data terutama dalam skala besar, sehingga bisa mempermudah dalam perhitungan daya maksimum (MPP) suatu sistem photovoltaik.

- Pada program komputer ( bahasa C/C++) menyediakan sistem pengelompokan data dengan cara pembentukan ke dalam struktur dan dimensi data. Dengan tersedianya fasilitas tersebut, sangat membantu dalam membaca, menghitung dan menyajikan data-data pengukuran beserta hasil perhitungannya.

#### DAFTAR PUSTAKA

Araujo, G.L., Sánchez, E., Marti M. (1992) *Determination of the two-exponential solar cell equation parameters from empirical data*, Solar Cells 5 2 (199-204).

Carl-Erik Froeberg (1985), *Numerical mathematics*, The Benjamin/Cummings Publishing company Inc., Canada.

George Arfken (1985), *Mathematical methods for physicists*, Academic press Inc.

Shoichiro Nakamura (1991), *Applied numerical methods with software*, Printice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey