

PEMODELAN *PHOTOVOLTAIC* DENGAN PENDEKATAN SATU DIODA DAN DUA DIODA

Usman¹⁾, Musfira Putri Lukman²⁾, Alamsyah Achmad³⁾
^{1,2,3)} Dosen Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar

ABSTRACT

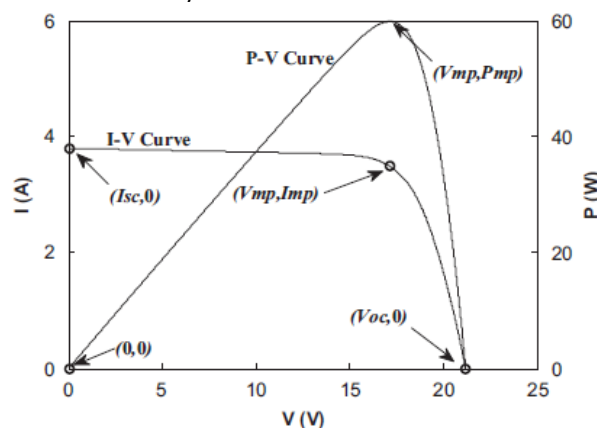
This paper discusses the characteristic testing of simulation-based Photovoltaic (PV) modules. The model used is the single diode and double diode approach. The modeling made can be used as a tool to determine the performance of a PV module at different radiation conditions and temperatures. The modeling of this PV module is made in Matlab software. This modeling is based on the mathematical model of the two PV models. The model made gives good results, based on the validation results by comparing the simulation results with the measurement results of the PV output current. The result is that decreasing solar radiation from standard conditions will result in a significant decrease in output current while the increasing temperature will cause a significant decrease in voltage, even though the current increases. Both of these conditions due a decrease in the power generated by PV.

Keywords: *PV modeling, PV characteristics, Matlab, Single and double diode models*

1. PENDAHULUAN

Photovoltaic (PV) adalah salah satu sumber energi yang sifatnya terbarukan, menjanjikan dan populer saat ini untuk industri maupun kehidupan manusia [1]–[3]. PV mengubah gelombang elektromagnetik (foton) yang secara langsung dikonversi menjadi listrik. Hal ini terjadi berdasarkan interaksi foton-elektron yang terjadi pada sambungan P-N bahan semikonduktor, karena PV terbuat dari bahan semikonduktor yaitu Silikon (Si) atau Germanium (Ge) [4].

Karakteristik kinerja PV secara umum dengan melihat kurva I-V dan P-V, seperti pada Gambar 1. Kurva ini memberikan bagaimana hubungan antara tegangan terhadap arus serta tegangan terhadap daya keluaran PV, sehingga dapat ditentukan titik daya maksimal didapatkan pada kondisi arus maksimal dan tegangan maksimal. Kinerja PV umumnya diuji pada kondisi standar atau *Standard Test Condition* (STC) yaitu pada panjang gelombang rata-rata 1.5 AM, radiasi 1000 W/m² dan suhu 25 °C.



Gambar 1. Kurva I-V dan P-V sebuah modul PV [5].

Pengukuran karakteristik PV pada dasarnya dapat dilakukan langsung pada sebuah PV akan tetapi untuk memenuhi persyaratan suhu dan radiasi matahari dalam kondisi standar. Pengukuran ini membutuhkan lingkungan yang harus dikondisikan seperti pada kondisi standar tersebut dan beberapa peralatan pengujian khusus, seperti simulator surya terbatas dan harganya yang mahal [6]. Sedangkan untuk melakukan pengujian yang sederhana mungkin tidak cukup untuk menghasilkan pengukuran yang akurat dari karakteristik kinerja PV ini. Cara lain yang lebih murah dan mudah adalah dengan melakukan pemodelan berdasarkan persamaan matematis yang berlaku pada PV tersebut, seperti yang dilakukan beberapa diantaranya [4]–[9] yang memberikan hasil akurat dibandingkan dengan pengukuran secara langsung.

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini ialah melihat karakteristik dari 2 model PV (kurva I-V dan P-V) pada berbagai kondisi radiasi matahari dan suhu yang berbeda-beda, serta parameter-parameter lain

¹ Korespondensi penulis: Usman, Telp. 085242396562, usman.ose@poliupg.ac.id

yang tidak diketahui dan tidak tercantum dalam *data sheet* sebuah modul PV. Kemampuan untuk memodelkan keluaran PV adalah kunci untuk analisis kinerja PV [10]. Untuk mempermudah pemodelan tersebut dapat menggunakan sebuah perangkat lunak salah satunya adalah MATLAB. Perangkat lunak ini merupakan salah satu perangkat lunak yang populer dalam bidang *engineering* saat ini [11].

2. METODE PENELITIAN

Sebuah modul PV secara sederhana (ekuivalen) terdiri dari sumber arus, satu atau dua Diode (*D*), akan tetapi secara praktiknya terdapat resistansi seri internal (R_s) dan resistansi *shunt* (paralel) (R_{sh}). Rangkaian ekuivalen dari modul PV dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian ekuivalen modul PV (a) Model satu Dioda dengan hambatan seri dan paralel, (b) Model dua Dioda dengan hambatan seri dan paralel [10].

Gambar 2a, merupakan model satu Dioda dengan R_s dan R_{sh} . Perlu diketahui bahwa sumber arus pada sel surya bukan sumber arus yang konstan karena bergantung pada besar radiasi matahari dan suhu. Secara matematika arus keluaran (I) untuk model ini dihitung dengan [8]:

$$I = I_{ph} - I_0 \{ \exp[q(V + IR_s)/V_t a] - (V + IR_s/R_{sh}) \} \tag{1}$$

dimana a adalah faktor ideal Dioda, $V_t = N_s kT/q$ adalah tegangan termal Dioda, N_s jumlah sel PV yang terhubung seri, k adalah konstanta Boltzmann $1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$, q adalah muatan elektron $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$.

I_{ph} merupakan arus foton (A) diberikan:

$$I_{ph} = [I_{ph,n} + K_1(T - T_n)](G/G_n) \tag{2}$$

dengan $I_{ph,n}$ merupakan arus foton pada kondisi standar (A), K_1 adalah koefisien suhu arus hubung singkat ($A/^\circ\text{C}$), T suhu operasi (K), G dan G_n masing-masing radiasi matahari operasi dan standar (W/m^2).

I_0 merupakan arus saturasi Diode (A) didapatkan dengan:

$$I_0 = [I_{sc,n} + (K_I \Delta T)] / \{ \exp[(V_{ocn} + (K_V \Delta T)) / a N_s V_T] - 1 \} \tag{3}$$

dimana $I_{sc,n}$ arus hubung singkat pada kondisi standar (A) dan $V_{oc,n}$ tegangan hubung buka pada kondisi standar (V), dan K_V adalah koefisien suhu tegangan hubung buka ($V/^\circ\text{C}$).

Model dua Diode dengan hambatan seri dan paralel ini mempunyai kemiripan dengan model 1 Diode akan tetapi ada tambahan 1 Diode lagi yang terpasang paralel seperti pada Gambar 2b. Model matematikanya dinyatakan sebagai [10]:

$$I = I_{ph} - I_{01} \{ \exp[(V + IR_s) / N_s k T a_1] \} - I_{02} \{ \exp[(V + IR_s) / N_s k T a_2] \} - (V + IR_s / R_{sh}) \tag{4}$$

Persamaan (4) dapat disederhanakan dengan menyamakan $I_{01} = I_{02} = I_0$, sehingga menjadi [5]:

$$I = I_{ph} - I_0 \{ \exp[(V + IR_s) / N_s k T] + \exp[(V + IR_s) / ((p - 1) N_s k T)] + 2 \} - (V + IR_s / R_{sh}) \tag{5}$$

sehingga I_0 pada model ini dihitung dengan:

$$I_0 = [I_{sc,n} + (K_I \Delta T)] / \{ \exp[(V_{ocn} + (K_V \Delta T)) / ((a_1 + a_2 / p) N_s V_T)] - 1 \} \tag{6}$$

dimana $a_1 = 1$, $a_2 = 1.2$ dan $p \geq 2.2$,

Berdasarkan (1) dan (5), maka dimodelkan kedua model PV tersebut pada *software* MATLAB 2017b, dengan menggunakan fitur m-file. *Software* ini dijalankan pada PC dengan OS Windows 10, 64 bit, prosesor intel core i5-3320 2.6 GH dan RAM 8Gb. Jenis PV yang dimodelkan yaitu jenis *monocrystalline* yang spesifikasinya disajikan pada Tabel 1.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil simulasi dari kedua model ini mempunyai deviasi daya maksimal (P_m) dibandingkan dengan *data sheet* adalah 0.000348 W (0.00063556%) dan 0.001408 W (0.0026%) masing-masing untuk model satu Dioda dan dua Dioda. Model yang dibuat divalidasi dengan hasil pengukuran aktual pada modul PV Photowatt-PWP-201 dari referensi [12], yang disajikan pada Tabel 2. Berdasarkan tabel tersebut dapat diketahui bahwa rata-rata kesalahan mutlak adalah sebesar 5.598987751% untuk model satu Dioda dan 2.669713762% untuk model dua Dioda. Dari kedua model ini, kesalahan mutlak dari arus simulasi terhadap hasil pengukuran

memiliki tren semakin besar nilai tegangan maka nilai kesalahan hasil simulasi terhadap arus pengukuran akan semakin besar.

Tabel 1. Spesifikasi modul PV *Monocrystalline* (Si) SM55 pada kondisi standar [9].

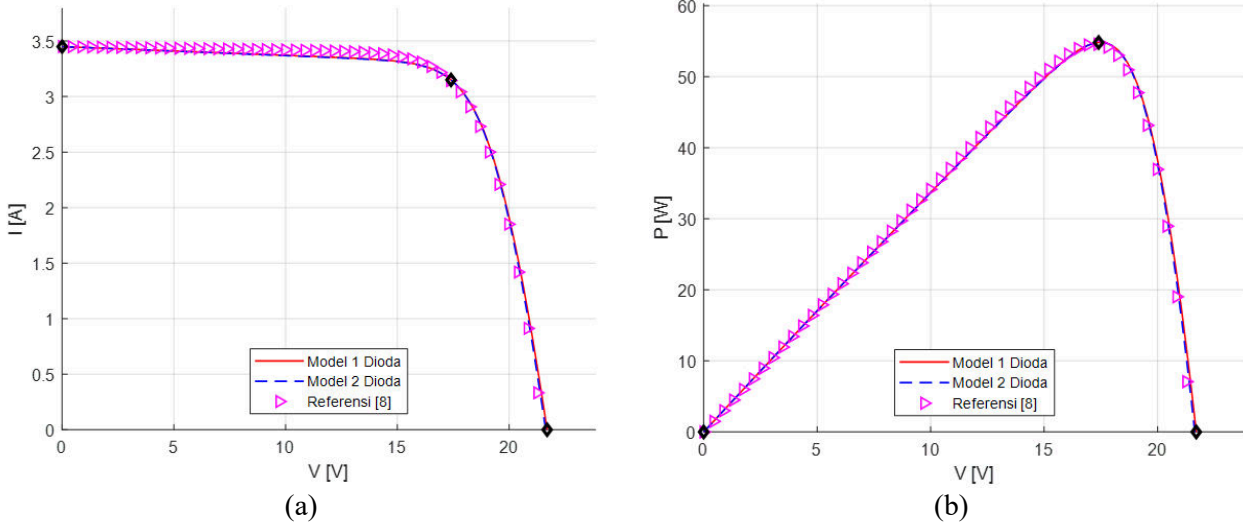
Parameter	Nilai
I_{sc} (A)	3.45
V_{oc} (V)	21.7
I_{mp} (A)	3.15
V_{mp} (V)	17.4
K_V (V/°C)	- 0.076
K_I (A/°C)	0.0014
N_s	36

Tabel 2. Perbandingan hasil simulasi dan pengukuran.

No.	Tegangan (V)	Arus (A)			Kesalahan Mutlak (%)	
		Pengukuran [10]	Simulasi		Model 1D	Model 2D
			Model 1D	Model 2D		
1	0.1248	1.0315	1.029240985	1.029003114	0.219002919	0.023111267
2	1.8093	1.03	1.019036558	1.015626101	1.064411816	0.334674628
3	3.3511	1.026	1.009684538	1.003380921	1.59020095	0.624315525
4	4.7622	1.022	1.001088557	0.992168311	2.046129406	0.891054652
5	6.0538	1.018	0.993119922	0.981886039	2.44401552	1.131170877
6	7.2364	1.0155	0.985574118	0.972411052	2.946911077	1.335573408
7	8.3189	1.014	0.978101839	0.963566757	3.540252561	1.486050001
8	9.3097	1.01	0.970087796	0.955031656	3.951703351	1.552038917
9	10.2163	1.0035	0.960503006	0.946192219	4.284702913	1.489926314
10	11.0449	0.988	0.947757996	0.935913425	4.073077364	1.249746323
11	11.8018	0.963	0.929601479	0.922226858	3.468174574	0.793309915
12	12.4929	0.9255	0.903201472	0.902071857	2.409349315	0.12506788
13	13.1231	0.8725	0.865537414	0.871341634	0.798004113	0.670591427
14	13.6983	0.8075	0.813914194	0.825388551	0.794327385	1.409774842
15	14.2221	0.7265	0.746934484	0.760517133	2.812730045	1.818452564
16	14.6995	0.6345	0.664660277	0.675131809	4.753392745	1.575471306
17	15.1346	0.5345	0.568783792	0.570551802	6.414179918	0.31084042
18	15.5311	0.4275	0.462151695	0.450473161	8.105659634	2.526991542
19	15.8929	0.3185	0.347947419	0.319534781	9.245657506	8.165784974
20	16.2229	0.2085	0.229492518	0.257556509	10.06835399	12.22871709
21	16.5241	0.101	0.109599792	0.104362162	8.514645747	4.778868593
22	16.7987	-0.008	-0.009233119	-0.00939511	15.41398634	1.75445227
23	17.0499	-0.111	-0.125603839	-0.12827032	13.15661199	2.122931137
24	17.2793	-0.209	-0.23800073	-0.25749903	13.87594747	8.192536886
25	17.4885	-0.303	-0.345369293	-0.38042908	13.98326512	10.15139128

Kedua model yang telah divalidasi kemudian diaplikasikan pada modul PV *Monocrystalline* (Si) SM55. Hasil simulasi dari kedua model modul PV tersebut dapat dilihat pada Gambar 3. Gambar ini mewakili kinerja/karakteristik dari sebuah modul PV. Gambar 3(a) merupakan kurva I-V sedangkan Gambar 3(b) merupakan kurva P-V. Dari kedua gambar ini diperoleh parameter-parameter utama yaitu arus hubung singkat (I_{sc}), tegangan hubung buka (V_{oc}), titik arus maksimal (I_{mp}), titik tegangan maksimal (V_{mp}), dan titik daya maksimal (P_{mp}). Berdasarkan Gambar 3(a) didapatkan $I_{sc} = 3.45$ A, $V_{oc} = 21.7$ V, $I_{mp} = 3.149$ A, $V_{mp} =$

17.4 V untuk model satu Dioda. Sedangkan untuk model 2 Dioda adalah $I_{sc} = 3.45$ A, $V_{oc} \cong 21.63$ VA, $I_{mp} = 3.149$ A, $V_{mp} = 17.4$ V. Dibandingkan dengan data pengukuran I_{sc} , V_{oc} dan masing-masing sebesar 21.7 V dan 3.45 A. Kemudian P_{mp} kedua model ini adalah 54.81 W, sedangkan hasil pengukuran sebesar 55.07 W. Data hasil pengukuran yang digunakan ini diperoleh dari [13]. Parameter-parameter yang disebutkan ini, pada Gambar 3(a) dan (b) ditandai dengan simbol Diamond (\diamond) yang berwarna hitam.



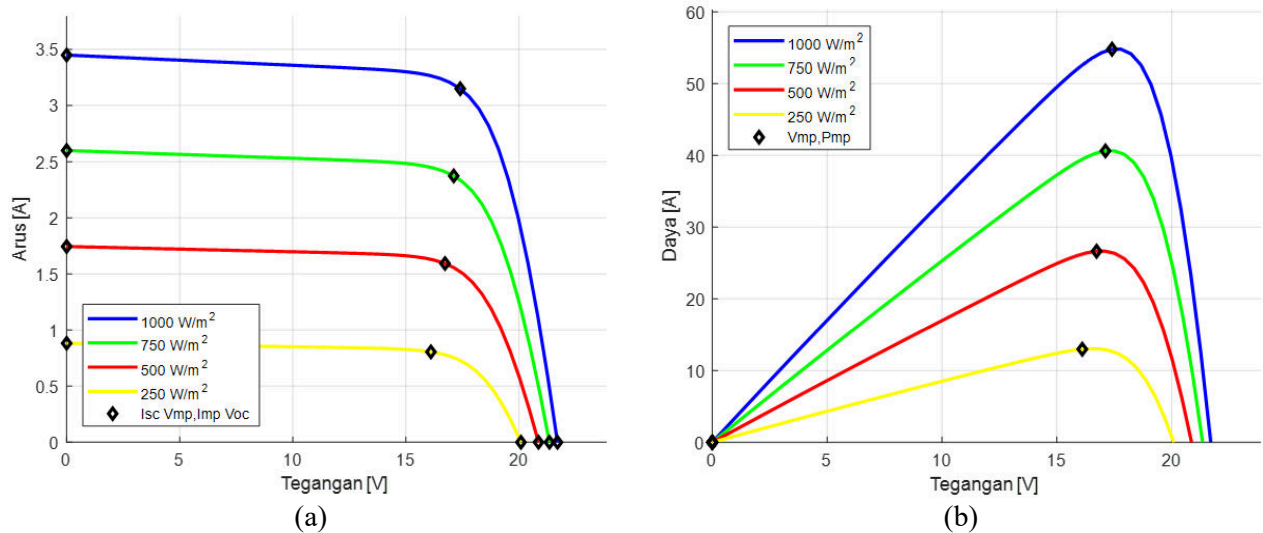
Gambar 3. Hasil simulasi model satu Dioda dan dua Dioda dengan pembandingan pada referensi [9], (a) Kurva I-V dan, (b) Kurva P-V.

Dari persamaan (1) sampai (6) yang telah dibahas pada bagian metode, didapatkan parameter yang tidak terdapat dalam *data sheet* meliputi seperti I_{ph} , I_0 , a , R_s dan R_{sh} yang dicantumkan pada Tabel 3. Parameter-parameter ini didapatkan pada kondisi standar, yaitu pada kondisi radiasi matahari 1000 W/m² dan suhu 25 °C. Berdasarkan tabel tersebut dapat dilihat bahwa nilai $R_s \ll R_{sh}$, hal ini telah dijelaskan dalam [8]. Pada kondisi radiasi atau suhu yang bervariasi nilai ini akan berubah. Nilai I_{ph} , I_0 , R_s akan menurun dengan turunnya radiasi matahari, sedangkan a dan R_{sh} akan menjadi lebih besar [9], [14]. Pada kondisi meningkatnya suhu, parameter a dan R_s akan mengalami penurunan [15], [16]. Sedangkan I_{ph} dan I_0 sebanding dengan perubahan suhu tersebut. Hal yang menarik pada kondisi meningkatnya suhu dari keadaan standar adalah nilai R_{sh} cenderung tetap [9].

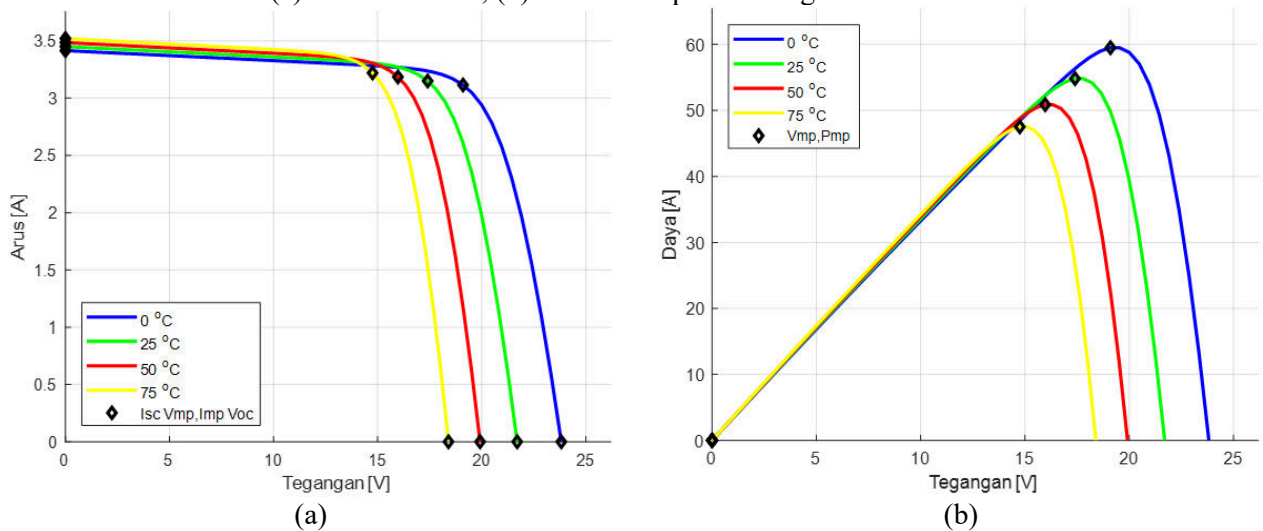
Tabel 3. Parameter hasil pemodelan modul PV Monocrystalline (Si) SM55.

Parameter	Model 1D	Model 2D	Referensi [9]
I_{ph} (A)	3.463185	3.462748	3.453
I_0 (A)	4.0943E-10	2.23242E-10	9.721E-8
a	1.029022	-	1.338
a_1	-	1	-
a_2	-	1.2	-
R_s (Ω)	0.419	0.452	0.3
R_{sh} (Ω)	109.717369	122.520186	350

Pengaruh radiasi matahari dan suhu pada kurva I–V dan P-V ditunjukkan pada Gambar 4 dan Gambar 5. Tanggapan dari modul PV pada berbagai level radiasi matahari seperti pada Gambar 4(a) memiliki pengaruh yang signifikan terhadap I_{sc} akan tetapi tidak halnya dengan V_{oc} . Berdasarkan gambar tersebut dapat dilihat bahwa penurunan radiasi matahari akan menyebabkan I_{sc} menurun secara signifikan [13], [17]. Menurunnya arus yang signifikan ini akan menyebabkan daya keluaran dari modul PV, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4(b). Sedangkan pada kondisi meningkatnya suhu, perubahan yang signifikan terjadi pada V_{oc} , dalam hal ini tegangan akan mengalami penurunan, seperti pada Gambar 5(a). Fenomena ini akan membawa dampak yang sama, seperti pada penurunan radiasi matahari, yaitu menurunnya daya keluaran modul PV, walaupun arus mengalami peningkatan, akan tetapi perubahannya kecil [13], [17]. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 5(b).



Gambar 4. (a) Kurva I-V dan, (b) Kurva P-V pada berbagai kondisi radiasi matahari.



Gambar 5. (a) Kurva I-V dan, (b) Kurva P-V pada berbagai kondisi suhu.

4. KESIMPULAN

Dua model PV yang dibuat telah diuji dan divalidasi memberikan kinerja/hasil yang baik. Dengan demikian dapat dijadikan sebuah model yang dinamis untuk melakukan pengujian karakteristik sebuah PV. Hasil simulasi dari pengujian kinerja PV dengan dua model yang dibuat pada variasi radiasi matahari dan suhu menghasilkan kurva I-V dan P-V yang sesuai dengan karakteristik modul PV yang sebenarnya, dimana penurunan radiasi matahari akan menyebabkan penurunan arus keluaran PV, sedangkan kenaikan suhu akan menyebabkan menurunnya tegangan keluaran, yang pada gilirannya akan menurunkan tegangan keluaran dari modul PV tersebut.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Syarif and A. N. Putri, “Desain Simulasi Stabilitas Frekuensi Beban Hybrid PLTS Dengan PLTD,” *PROtek J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 7, no. 1, pp. 45–50, May 2020, doi: 10.33387/protk.v7i1.1715.
- [2] F. A. Samman, A. A. Rahmansyah, and Syafaruddin, “Peak Bracketing And Decrement Window-Size Scanning-Based Mppt Algorithms For Photovoltaic SystemS,” *Int. J. Innov. Comput. Inf. Control*, vol. 14, no. 3, pp. 1015–1028, 2018.
- [3] U. Usman and U. Muhammad, “Perencanaan dan Analisis Ekonomi PLTS Terpusat (Studi Kasus : Pulau Kodingareng),” in *Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI) 2016*, Aug. 2016, pp. 38–46.
- [4] E. Saloux, A. Teysseidou, and M. Sorin, “Explicit model of photovoltaic panels to determine voltages and

- currents at the maximum power point,” *Sol. Energy*, vol. 85, no. 5, pp. 713–722, May 2011, doi: 10.1016/j.solener.2010.12.022.
- [5] K. Ishaque, Z. Salam, and H. Taheri, “Simple, fast and accurate two-diode model for photovoltaic modules,” *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 95, no. 2, pp. 586–594, Feb. 2011, doi: 10.1016/J.SOLMAT.2010.09.023.
- [6] R. Chenni, M. Makhlof, T. Kerbache, and A. Bouzid, “A detailed modeling method for photovoltaic cells,” *Energy*, vol. 32, no. 9, pp. 1724–1730, Sep. 2007, doi: 10.1016/j.energy.2006.12.006.
- [7] A. P. Sari, “Pengujian Dan Validasi Model Fotovoltaik Menggunakan Pendekatan Single Diode Dan Double Diode,” Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017.
- [8] M. G. Villalva, J. R. Gazoli, and E. R. Filho, “Comprehensive Approach to Modeling and Simulation of Photovoltaic Arrays,” *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 24, no. 5, pp. 1198–1208, May 2009, doi: 10.1109/TPEL.2009.2013862.
- [9] S. Bogning Dongue, D. Njomo, and L. Ebengai, “An Improved Nonlinear Five-Point Model for Photovoltaic Modules,” *Int. J. Photoenergy*, vol. 2013, pp. 1–11, 2013, doi: 10.1155/2013/680213.
- [10] T. Ma, H. Yang, L. Lu, and J. Peng, “An Optimization Sizing Model for Solar Photovoltaic Power Generation System with Pumped Storage,” *Energy Procedia*, vol. 61, pp. 5–8, 2014, doi: 10.1016/j.egypro.2014.11.892.
- [11] S. N. Hutagalung, “Pembelajaran Fisika Dasar dan Elektronika Dasar Menggunakan Aplikasi Matlab Metode Simulink,” *J. Sci. Soc. Res.*, vol. 1, no. 1, pp. 30–35, 2018.
- [12] W. Long, S. Cai, J. Jiao, M. Xu, and T. Wu, “A new hybrid algorithm based on grey wolf optimizer and cuckoo search for parameter extraction of solar photovoltaic models,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 203, p. 112243, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.enconman.2019.112243.
- [13] L. Martin, P. Vladislav, and K. Pavel, “Temperature changes of I-V characteristics of photovoltaic cells as a consequence of the Fermi energy level shift,” *Res. Agric. Eng.*, vol. 63, no. No. 1, pp. 10–15, Apr. 2017, doi: 10.17221/38/2015-RAE.
- [14] A. Kassis and M. Saad, “Analysis of multi-crystalline silicon solar cells at low illumination levels using a modified two-diode model,” *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 94, no. 12, pp. 2108–2112, Dec. 2010, doi: 10.1016/j.solmat.2010.06.036.
- [15] K. Ishaque and Z. Salam, “An improved modeling method to determine the model parameters of photovoltaic (PV) modules using differential evolution (DE),” *Sol. Energy*, vol. 85, no. 9, pp. 2349–2359, Sep. 2011, doi: 10.1016/J.SOLENER.2011.06.025.
- [16] P. SINGH, S. SINGH, M. LAL, and M. HUSAIN, “Temperature dependence of I–V characteristics and performance parameters of silicon solar cell,” *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 92, no. 12, pp. 1611–1616, Dec. 2008, doi: 10.1016/j.solmat.2008.07.010.
- [17] D. Kumar, P. Mishra, A. Ranjan, D. K. Dheer, and L. Kumar, “A simplified simulation model of silicon photovoltaic modules for performance evaluation at different operating conditions,” *Optik (Stuttg.)*, vol. 204, p. 164228, Feb. 2020, doi: 10.1016/j.ijleo.2020.164228.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pimpinan Politeknik Negeri Ujung Pandang atas bantuan pendanaan penelitian pada skim Penelitian Dosen Pemula (PDP) DIPA lokal PNUP tahun 2020, melalui Unit Penelitian dan Pengabdian Masyarakat dengan nomor kontrak B/40/PL10.13/PT.01.05/2020.