

Studi Numerik Dengan Model Empat Parameter Untuk Memprediksi Daya Luaran Dari Panel Surya

Mega Lazuardi Umar^{1*}, Rizqi Ilmal Yaqin²

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember

²Program Studi Permesinan Kapal, Politeknik Kelautan dan Perikanan

E-mail: megalazuardi@unmuhjember.ac.id¹, r.ilmalyaqin@politeknikpdumai.ac.id²

Abstrak

Info Naskah:

Naskah masuk: 12 Juni 2020

Direvisi: 2 Agustus 2020

Diterima: 13 Agustus 2020

Panel surya adalah salah satu energi terbarukan yang saat ini diharapkan mampu menjadi alternatif dari energi fosil yang masih digunakan diseluruh dunia. Oleh karena itu, diperlukan sebuah model yang akurat untuk memprediksi daya luaran dari panel surya. Penelitian ini menggunakan model empat parameter untuk memprediksi performa dari panel surya. Model panel surya dengan empat parameter diekstraksi menggunakan aplikasi matlab dari persamaan model satu diode, kemudian hasilnya divalidasi dengan *datasheet* dan eksperimen. Didapatkan bahwa nilai *error* daya luaran dari *datasheet* dan eksperimen sebesar 0.03% dan 3.54% secara berurutan, dengan demikian model empat parameter mampu memodelkan secara akurat dan diharapkan akan mampu menjadi referensi bagi peneliti ataupun pelaku industri di masa yang akan datang

Abstract

Keywords:

solar panel;
simulation;
renewable energy;
energy.

Solar panel is one of the most promising renewable energies technology that can be an alternative of the fossil fuel energy. Furthermore, an accurate model to simulate the solar panel efficiency and power output is required. In this study, four parameters model is used to simulate the power output of the solar panel. Four parameters are extracted from single diode equation by using Matlab software then validate with manufacturer *datasheet* and one-day experiment condition. The error value from *datasheet* and experiment are 0.03% and 3.54%, respectively. Findings show that four parameters model is accurate. In the future, this result can be taken as a valuable reference for researcher and industrial to modelling energy output of the solar panel.

*Penulis korespondensi:

Mega Lazuardi Umar

E-mail: megalazuardi@unmuhjember.com

1. Pendahuluan

Sebagian besar kebutuhan energi di dunia saat ini masih ditopang oleh energi dari bahan bakar fosil. Akan tetapi, penggunaan bahan bakar fosil menyebabkan polusi pada lingkungan dan pemanasan global, sehingga bahan bakar fosil tidak dapat diandalkan seperti sebelumnya dan menjadi perhatian yang serius bagi pemerintah di seluruh dunia.

Panel surya adalah salah satu sumber daya energi terbarukan karena menghasilkan emisi dan kebisingan yang minimal. Negara Inggris telah memprediksi bahwa panel surya dengan ukuran $250 \times 250 \text{ km}^2$ akan cukup untuk memenuhi permintaan kebutuhan listrik global untuk tahun 2021 [1]. Negara China memprediksi akan memiliki kebutuhan kapasitas panel surya yang meningkat setiap tahunnya [2]. Peningkatan kebutuhan konsumsi pada sumber daya energi terbarukan membutuhkan sebuah studi untuk memprediksi performa dan mengevaluasi kinerja panel surya yang akurat agar bisa menjadi rujukan bagi para peneliti ataupun pelaku industri energi terbarukan di masa yang akan datang. Oleh karena itu, untuk memprediksi luaran energy yang akurat, dibutuhkan sebuah metode numerik berdasarkan teori matematik untuk memprediksi luaran dari system tersebut dengan bantuan *software* numerik [3],[4].

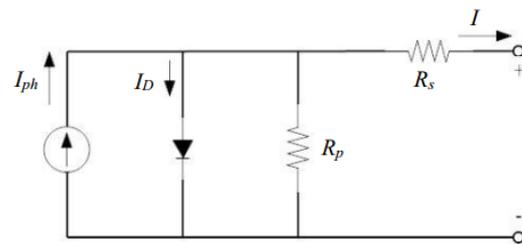
Beberapa peneliti dalam studi sebelumnya telah membuat beberapa model dengan metode *thermal* atau elektrik untuk memprediksi performa panel surya. Jones & Underwood [5] mempresentasikan model *thermal* untuk memprediksi kinerja panel surya pada kondisi iklim yang berbeda, akurasi terbaik diperoleh dalam kondisi cerah dan mendung ketika intensitas radiasi sedikit berfluktuasi. Zondag dkk [6] mengembangkan model termal, melakukan empat desain kolektor panel surya yang berbeda untuk memprediksi efisiensi *thermal* dan listrik. Akan tetapi, metode numerik yang diusulkan oleh Zondag hanya mempertimbangkan dalam *zero reduced temperature*, sehingga akurasi model dapat berbeda dalam kondisi nyata. Lee dkk [7] membuat validasi panel surya untuk mengukur daya listrik. Metode perpindahan panas, konservasi energi dan kapasitansi dikombinasikan dengan bantuan aplikasi Matlab/Simulink. Model ini menunjukkan bahwa daya listrik dan efisiensi listrik dapat diprediksi secara akurat sesuai dengan faktor lingkungan. referensi yang disebutkan [5-7] menggunakan model *thermal* untuk memprediksi keluaran panel surya yang cukup rumit untuk diselesaikan.

Cubas [8] dan Brano [9] memperkenalkan metode elektrikal untuk prediksi daya luaran panel surya dengan cara mengekstraksi lima parameter yang tidak diketahui pada model satu dioda, di dapatkan hasil yang cukup akurat jika dibandingkan dengan *datasheet* panel surya. Akan tetapi, metode Cubas hanya dibandingkan dengan *datasheet* saja tanpa validasi pada *eksperimen* sebenarnya. Et-torabi [10] membuat prediksi daya luaran panel surya dengan model satu diode dan dua diode. Hasil dua diode menunjukkan keakuratan yang lebih tinggi dibandingkan dengan satu diode, namun parameter yang tidak diketahui pada persamaan dua dioda menjadi lebih banyak dan kompleks untuk diselesaikan.

Berdasarkan studi pada penelitian sebelumnya, metode *thermal* dan elektrik bisa digunakan untuk memprediksi daya luaran panel surya. Dalam penelitian kali ini, ekstraksi empat parameter pada metode satu dioda dipilih untuk memprediksi daya luaran panel surya karena hasil yang akurat dan sederhana. Hasil ekstraksi empat parameter lalu disimulasikan dan divalidasi berdasarkan dengan *datasheet* dan eksperimen. Diharapkan hasil penelitian ini akan mampu menjadi referensi bagi peneliti ataupun pelaku industri di masa yang akan datang

2. Metode

Sel surya pada dasarnya terdiri dari *circuit* dan pemodelan yang paling umum adalah satu diode karena sangat sederhana untuk diterapkan pada simulasi [11]. Skema dari model satu diode ditunjukkan oleh Gambar 1.



Gambar 1. Equivalent circuit dari model satu dioda

Equivalent circuit yang ditunjukkan pada Gambar 1 ditranlasikan menjadi persamaan matematika sebagai berikut:

$$I = I_{ph} - I_D - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (1)$$

Dimana:

$$I = I_{ph} - I_o \left[\exp\left(\frac{V + IR_s}{N_s n V_t}\right) - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (2)$$

Pada persamaan (2) terdapat lima parameter yang tidak diketahui nilainya yaitu I_{ph} (A), I_o (A), n , R_s (Ω), dan R_{sh} (Ω) secara berurutan adalah *the photo generated current, the saturation current of diode, the ideality factor, the resistance series, and the shunt resistance*. Lima parameter tersebut yang menjadikan persamaan dasar untuk mengetahui performa dari suatu sel surya yang ada pada penelitian ini.

Nilai lima parameter tersebut dapat diketahui dengan cara pemecahan persamaan matematika baik secara numerik maupun analitik [12]. Penelitian ini menggunakan metode numerik untuk menyelesaikan permasalahan yang dirumuskan. Untuk menyederhanakan persamaan, nilai *ideality factor* (n) diasumsikan memiliki nilai 1.2 sesuai rekomendasi dari penelitian yang telah dilakukan [12] sehingga nilai variabel yang tidak diketahui berkurang menjadi empat parameter, oleh karena itu dibutuhkan minimal empat persamaan untuk meyelesaikannya. Adapun agar artikel ini menjadi ringkas, maka metode untuk menurunkan persamaan satu dioda pada persamaan 2 menjadi empat persamaan lainnya dapat dilihat secara detail pada [9],[10], [13-15] Cara memecahkan persoalan empat parameter tersebut dapat menggunakan bantuan *initial*

guess value dari persamaan analitik yang di hasilkan oleh penelitian [8] yang ditampilkan pada persamaan 3-6 dan nilai parameter dapat diketahui dengan menginput nilai pada Tabel 1.

(1) Series Resistance (R_s)

$$\frac{aV_t V_{mp} (2I_{mp} - I_{sc})}{(V_{mp} I_{sc} + V_{oc} (I_{mp} - I_{sc})) (V_{mp} - I_{mp} R_s) - aV_t (V_{mp} I_{sc} - V_{oc} I_{mp})} = \exp\left(\frac{V_{mp} + I_{mp} R_s - V_{oc}}{aV_t}\right) \quad (3)$$

(2) Shunt Resistance (R_{sh})

$$R_{sh} = \frac{(V_{mp} - I_{mp} R_s)(V_{mp} - R_s(I_{sc} - I_{mp}) - aV_t)}{(V_{mp} - I_{mp} R_s)(I_{sc} - I_{mp}) - aV_t I_{mp}} \quad (4)$$

(3) Diode saturation current (I_o)

$$I_o = \frac{(R_{sh} + R_s) I_{sc} - V_{oc}}{R_{sh} \exp\left(\frac{V_{oc}}{aV_t}\right)} \quad (5)$$

(4) Photo generated current (I_{ph})

$$I_{ph} = \frac{R_{sh} + R_s}{R_{sh}} I_{sc} \quad (6)$$

Tabel 1. Spesifikasi BenQ Sunforte Mono-Crystalline PM-096BOO 330 W [16]

Karakteristik	Nilai
Voltage at maximum power point (V_{mp})	54.7 V
Current at maximum power point (I_{mp})	6.04 A
Open-circuit voltage (V_{oc})	6.49 V
Short-circuit Current (I_{sc})	6.52 A
Maximum power at STC (P_m)	330 W
Number of cells connected in series (N_s)	96
Module efficiency (η)	20.3 %
Temperature coefficient of I_{sc} (alpha)	0.05% / K
Temperature coefficient of V_{oc} (beta)	-0.26% / K
Temperature coefficient of P_{mp} (gamma)	-0.33% / K

Nilai dari empat parameter dapat diketahui dengan cara memecahkan persamaan satu dioda pada kondisi *Standard Test Condition* (STC) yang akan digunakan untuk penelitian ini. STC didefinisikan pada kondisi sebagai berikut: Intensitas radiasi 1000 W/m², *spectral distribution air mass* 1.5, dan temperatur 25 °C. Sementara Panel surya yang digunakan pada penelitian ini yaitu panel surya yang memiliki tipe BenQ Sunforte Mono-Crystalline PM-096BOO dengan spesifikasi maksimal output 330 W. Detail spesifikasi panel surya pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 menunjukkan karakteristik pada jumlah sel panel dalam satu panel sebanyak 96 unit dan memiliki nilai efisiensi modul panel surya sebesar 20.3% dengan maksimum daya output sebesar 330 W. Gabungan seluruh persamaan lalu diselesaikan secara bersamaan dengan bantuan aplikasi Matlab 2018a untuk mengekstraksi nilai empat parameter secara bersamaan. Hasil ekstraksi

digunakan untuk memprediksi daya output panel surya dan validasi dilakukan dengan *datasheet* dan eksperimen [7, 17].

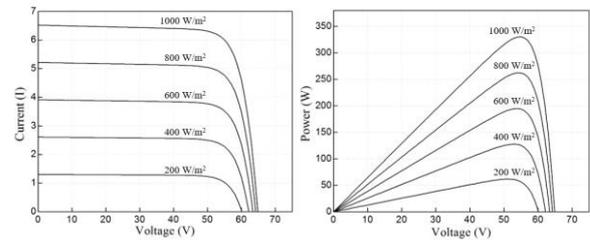
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Ekstraksi Model Empat Parameter

Hasil ekstraksi model empat parameter ditampilkan pada Tabel 2 dengan nilai R_s , R_{sh} , I_o , dan I_{ph} secara berurutan sebesar 0.2367 Ω, 357.0979 Ω, 1.881E-09 A, dan 6.5243 A.

Tabel 2 Hasil Model Empat Parameter

R_s	R_{sh}	I_o	I_{ph}
0.2367 Ω	357.0979 Ω	1.881E-09 A	6.5243 A



Gambar 2 Kurva I-V dan PV

Selanjutnya dari empat parameter model diatas, melalui persamaan 1 dapat dimodelkan kurva *Current-Voltage* (I-V) dan *Power Voltage* (P-V) pada berbagai macam kondisi intensitas radiasi seperti yang terdapat pada Gambar 2. Suhu yang digunakan adalah konstan pada 25°C, dan intensitas radiasi bervariasi mulai 200-1000 W/m². Dapat diketahui bahwa semakin tinggi nilai intensitas radiasi, maka daya yang keluar dari panel surya semakin meningkat.

3.2 Validasi Eksperimen

Pengujian keakuratan pertama divalidasi dari model menggunakan daya listrik yang didapat dari hasil ekstraksi dari empat parameter dibandingkan dengan spesifikasi yang diambil dari *datasheet* yang ada pada spesifikasi produk yang sudah dibuat di industri [14] dengan kondisi *Nominal Operation Cell temperature* (NOCT), NOCT didefinisikan sebagai kondisi saat intensitas radiasi 800 W/m², *distribution masa udara* 1.5, suhu 20 °C, dan kecepatan angin 1 m/s. nilai dari error adalah 0.06% pada persamaan 7 dan ditampilkan pada Tabel 3.

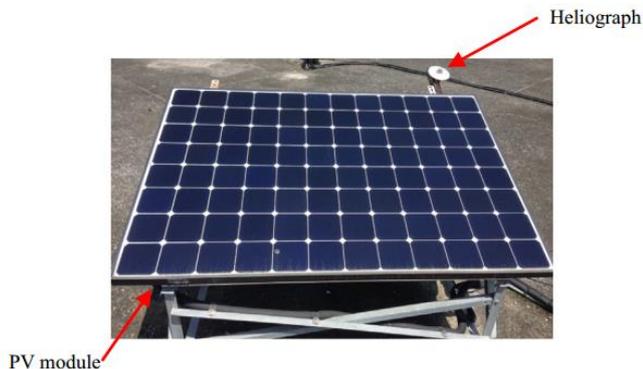
$$Error = \left| \frac{X_{predict} - X_{actual}}{X_{actual}} \right| \times 100\% \quad (7)$$

Tabel 3 Temperature at NOCT condition

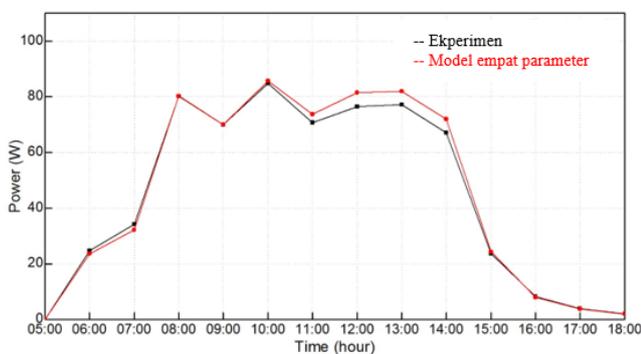
<i>Datasheet</i>	Prediksi	Perbedaan	Error
45 °C	45.03 °C	0.03 °C	0.06%

Selanjutnya, pengujian keakuratan kedua validasi dari model yang telah simulasikan numerik dengan kondisi yang sebenarnya dan menggunakan model empat parameter lalu dibandingkan dengan eksperimen yang telah dilakukan sebelumnya [7]. Foto eksperimen panel surya ditampilkan

pada Gambar 3. Pengujian keakuratan validasi menggunakan bantuan alat modul panel surya (PV) dan heliograph yang ditunjukkan dengan tanda panah pada Gambar 3.



Gambar 3. Eksperimen panel surya [7, 17]



Gambar 4 Kurva waktu dan daya perbandingan hasil eksperimen dengan simulasi numerik model empat parameter

Intensitas radiasi matahari ditangkap oleh sensor pyranometer heliograf dan kemudian hasil daya luarannya dari eksperimen diekstrak melalui *datalogger* setiap satu jam sekali. Perbandingan daya luaran dari eksperimen dan model empat parameter ditampilkan pada Gambar 4. Pengambilan data pada pukul 05:00 pagi, diketahui masih belum adanya cahaya radiasi dari matahari, sehingga belum ada daya yang keluar dari panel surya, seiring bertambahnya waktu, didapatkan daya yang berfluktuasi pada pukul 08:00-14:00, hal ini dikarenakan kondisi mendung, sehingga intensitas cahaya radiasi oleh matahari tidak maksimal dan bervariasi karena terhalang oleh awan. Nilai daya elektrik tertinggi didapatkan pada pukul 10:00 yaitu sebesar 85.75 W oleh eksperimen dan 84.79 W oleh model empat parameter.

Hasil eksperimen yang telah dilakukan selama satu hari diketahui bahwa model empat parameter mampu memodelkan simulasi panel surya dalam akurasi yang baik. Nilai rata-rata *error* dihitung dengan persamaan 7 dan diketahui sebesar 3.54%, hal ini menunjukkan bahwasanya model empat parameter mampu memodelkan simulasi secara akurat.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pemaparan analisa penelitian didapatkan bahwa model empat parameter mampu mensimulasikan panel surya secara baik dan akurat. Hasil

validasi daya luaran dengan *datasheet* manufaktur pembuatan panel surya pada kondisi NOCT menunjukkan 0.06% error, sementara hasil dengan eksperimen pada pukul 05:00-18:00 menunjukkan rata-rata error sebesar 3.54%. Oleh karena itu diharapkan model empat parameter ini mampu menjadi referensi bagi peneliti ataupun pelaku industri dimasa yang akan datang

Daftar Pustaka

- [1] N. Kannan, D. Vakeesan, "Solar energy for future world: - A review" *Renew. Sust. Energy. Rev.*, vol. 62, pp. 1092–1155, 2019
- [2] A. Jäger-Waldau, "JRC science and policy reports: PV Status Report 2019," 2019.
- [3] R. I. Yaqin, J. P. Siahaan, and S. H. Pranoto, "Analisis Tegangan Propeller Kapal Penangkap Ikan Di Kota Dumai Menggunakan Finite Element Analysis," *JIT (Jurnal Teknol. Ter.*, vol. 5, no. 2, p. 56, 2019.
- [4] R. I. Yaqin, A. B. Prasetyo, P. Pritiansyah, M. H. Amrullah, and B. M. T. Pakpahan, "Studi Numerik Umur Kelelahan (Fatigue Life) Pada Propeller Kapal Penangkap Ikan Dengan Kapasitas Mesin 24 Hp," *JIT (Jurnal Teknol. Ter.*, vol. 6, no. 1, pp. 8–17, 2020.
- [5] D. Sato and N. Yamada, "Review of photovoltaic module cooling methods and performance evaluation of the radiative cooling method," *Renew. Sust. Energy. Rev.*, vol. 104, pp. 151–166, 2019
- [6] H. A. Zondag, D. W. de Vries, W. G. J. van Helden, R. J. C. van Zolingen, and A. A. van Steenhoven, "The yield of different combined PV-thermal collector designs," *Sol. Energy*, vol. 74, no. 3, pp. 253–269, 2003.
- [7] Y. W. Lee, C. F. J. Kuo, W. H. Weng, C. Y. Huang, and C. Y. Peng, "Dynamic modeling and entity validation of a photovoltaic system," *Appl. Energy*, vol. 200, pp. 370–382, 2017.
- [8] Cubas J, Pindado S, Farrahi A, 'New Method for analytical photovoltaic parameter extraction," *International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA)*, Madrid, pp. 873-877, 2013
- [9] L. Brano, Ciulla G, "An efficient analytical approach for obtaining a five parameters model of photovoltaic modules using only reference data," *Appl. Energy*. vol. 111, pp. 894-903, 2013;.
- [10] Et-torabi K, Nassar-eddine I, Obbadi A, Errami Y, Rmaily R, Sahnoun S, El Fajri M, Agunaou M. Parameters estimation of the single and double diode photovoltaic models using a Gauss-Seidel algorithm and analytical method: A comparative study. *Energy Convers Manage* 2017; 148: 1041-1054.
- [11] Z. Chen, L. Wu, P. Lin, Y. Wu, and S. Cheng, "Parameters identification of photovoltaic models using hybrid adaptive Nelder-Mead simplex algorithm based on eagle strategy," *Appl. Energy*, vol. 182, pp. 47–57, 2016.
- [12] V. J. Chin, Z. Salam, and K. Ishaque, "Cell modelling and model parameters estimation techniques for photovoltaic simulator application: A review," *Appl. Energy*, vol. 154, pp. 500–519, 2015.
- [12] A. Dandoussou, M. Kamta, L. Bitjoka, P. Wira, and A. Kuitché, "Simulations Based on Experimental Data of the Behaviour of a Monocrystalline Silicon Photovoltaic Module," *J. Sol. Energy*, vol. 2015.
- [13] H. K. Mehta, H. Warke, K. Kukadiya, A. K. Panchal, "Accurate Expressions for Single-Diode-Model Solar Cell Parameterization," *IEEE J.* vol. 9, no. 3, 2019
- [14] D. Mathew, C. Rani, M. Rajesh Kumar, Y. Wang, R. Binns

- and K. Busawon, "Wind-driven optimization technique for estimation of solar photovoltaic parameters", *IEEE J. Photovolt.*, vol. 8, no. 1, pp. 248-255, Jan. 2018.
- [15] L. H. I. Lim, Z. Ye, J. Ye, D. Yang and H. Du, " A linear identification of diode models from single I–V characteristic of PV panels ", *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 62, no. 7, pp. 4181-4193, Jul. 2015.
- [16] <https://solar.auo.com>, terakhir diakses: 10 Juni, 2020
- [17] C. F. J. Kuo, J. M. Liu, M. L. Umar, W. L. Lan, C. Y. Huang, S. S. Syu , "The photovoltaic-thermal system parameter optimization design and practical verification," *Energ. Convers. Manag.*, vol. 180, pp. 358-371, 2019.