

**ID: 26**

## Pemodelan dan Simulasi Modul Sel Surya Paralel Menggunakan MATLAB

### Modeling and Simulation of Parallel Solar Cell Module Using MATLAB

**Setianto<sup>1\*</sup>**

<sup>1</sup> Departemen Fisika, FMIPA, Universitas Padjadjaran  
Jalan Raya Bandung-Sumedang KM 21, Sumedang 45363  
\*setianto@phys.unpad.ac.id

**Abstrak** – Energi matahari dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif yang potensial karena energinya yang sangat besar serta ramah lingkungan dan dapat diperbaharui. Salah satu teknologi yang dapat mengubah energi matahari menjadi energi listrik adalah panel surya yang berdasarkan pada prinsip fotovoltaik. Pada tulisan ini akan dijelaskan tentang pemodelan dan simulasi untuk mengetahui karakteristik modul sel surya tunggal dan paralel dengan parameter berupa tegangan, arus dan daya maksimum yang digunakan untuk menganalisa kinerja dari panel surya. Hasilnya, pada iradiasi matahari tetap daya maksimum pada modul tunggal bernilai 156,49 watt dengan efisiensi 15,649 persen, sedangkan untuk modul paralel menghasilkan daya maksimum sebesar 313,206 watt dengan efisiensi sebesar 16,36 persen.

**Kata Kunci:** fotovoltaik, pemodelan, karakteristik panel surya.

**Abstract** - Solar energy can be used as a potential alternative energy source because the energy is very large and environmentally friendly and renewable. One technology that can convert solar energy into electrical energy is solar panels based on the photovoltaic principle. In this paper, modeling and simulation will be explained to determine the characteristics of single and parallel solar cell modules with parameters such as voltage, current and maximum power used to analyze the performance of solar panels. As a result, in solar irradiation the maximum power for a single module is 156.49 watts with an efficiency of 15.649 percent, while for parallel modules it produces a maximum power of 313.206 watts with an efficiency of 16.36 percent.

**Keywords:** photovoltaic, modeling, characteristics of solar panels.

#### 1. Pendahuluan

Salah satu energi alternatif yang bisa digunakan yaitu Energi matahari, Matahari menyediakan energi sangat besar diperkirakan permukaan bumi menyerap sebesar  $1.8 \times 10^{11}$  MW [1,4] ini artinya kurang dari satu jam matahari mengirimkan energi ke bumi untuk mencukupi kebutuhan makhluk hidup, indonesia sendiri menerima energi surya yang iradiasi energi harian rata-rata persatuan luas persatuan waktu sebesar kira-kira  $48.000 \text{ Watt/m}^2$ [2]. Salah satu teknologi energi matahari yang dapat digunakan yaitu *Photovoltaic* (PV). PV sendiri merupakan sistem pengubah energi matahari menjadi energi listrik[3]. Saat ini jumlah instalasi PV yang terpasang didunia mengalami peningkatan yang cukup pesat pada tahun 2000 sampai dengan 2012, benua dengan jumlah instalasi PV terbesar adalah Eropa. Sel surya memiliki kemampuan yang beragam bergantung dengan perlakuan yang diberikan, maka perlu dilakukan penelitian untuk mengetahuinya, namun untuk melakukan percobaan secara langsung menggunakan modul sel surya akan sulit dilakukan karena membutuhkan biaya yang cukup besar pula sehingga terdapat resiko yang perlu dipertimbangkan untuk merangkai PV secara langsung. Resiko yang akan terjadi dapat berupa daya yang dihasilkan oleh PV tidak sesuai dengan yang diharapkan dan terdapat kerusakan- kerusakan yang tidak diketahui. Dalam dunia

**SENTER VI 2021**, 18 November 2021, pp. 208-213

ISBN: 978-602-60581-7-1

■ 208

*engineering* perlu dilakukan pemodelan dimana suatu sistem *real* dapat dibuat modelnya agar dapat dengan mudah dipelajari dan ditingkatkan performanya tanpa harus melalui serangkaian eksperimen terhadap sistem *real*[5,6]. Maka pada artikel ini akan dilakukan pemodelan dan simulasi modul sel surya yang disusun secara paralel untuk mengetahui karakteristik kelistrikkannya. Pemodelan yang digunakan adalah rangkaian ekuivalen sel surya dua dioda sedangkan untuk simulasinya menggunakan perangkat lunak Matlab yaitu program Simulink. Simulink memiliki sejumlah kelebihan bila dibanding dengan m-file. Diantara kelebihan tersebut adalah pemrogramannya yang lebih mudah, karena dengan hanya menempatkan atau menyambung blok-blok yang sudah disediakan program sudah sesuai dengan sistem yang sesungguhnya. Data yang diperoleh dari simulasi ini adalah tegangan dan arus dari sel surya yang merupakan karakteristik kelistrikan panel sel surya secara paralel. Modul Sel Surya ini sendiri tidak hanya terdiri sel-sel surya, tetapi juga terdiri atas peralatan elektronik yang dibutuhkan untuk melakukan koneksi antara modul sel surya dengan sistem lainnya dan tergantung pada sistem modul sel surya tersebut. Berbagai penelitian yang mempelajari sel surya dan aplikasinya menggunakan model rangkaian listrik yang ekuivalen dengan sel surya untuk mendeskripsikan hubungan antara arus keluaran dan tegangan keluaran sel surya rangkaian ekuivalen dari sel surya terdiri atas sumber arus yang dihasilkan dari proses konversi, dua buah diode, sebuah resistor paralel, dan sebuah resistor seri. Sel surya memiliki titik tegangan operasi optimal dimana pada titik tersebut daya keluaran yang dihasilkan oleh sel surya berada pada nilai maksimal. Titik tegangan operasi optimal ini bervariasi tergantung pada kondisi lingkungan ( $T$  dan  $I_r$ ) [7]. Sebuah panel surya dapat beroperasi secara maksimum jika temperatur panel tetap normal (pada  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), kenaikan temperatur lebih tinggi dari temperatur normal pada panel surya akan melemahkan tegangan. Setiap kenaikan temperatur panel surya  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  (dari  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) akan berkurang sekitar  $0.4\%$  pada total tenaga yang dihasilkan atau akan melemah 2 kali lipat untuk kenaikan temperatur panel per  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ [8]. Rangkaian sel surya dapat dianalogkan dengan rangkaian baterai sebagai sumber energi listrik dalam rangkaian listrik. Ada dua jenis rangkaian yang dapat dipakai sel surya yaitu rangkaian seri dan rangkaian paralel. Penentuan jenis rangkaian sel surya disesuaikan dengan nilai tegangan dan arus keluaran yang diinginkan [9].

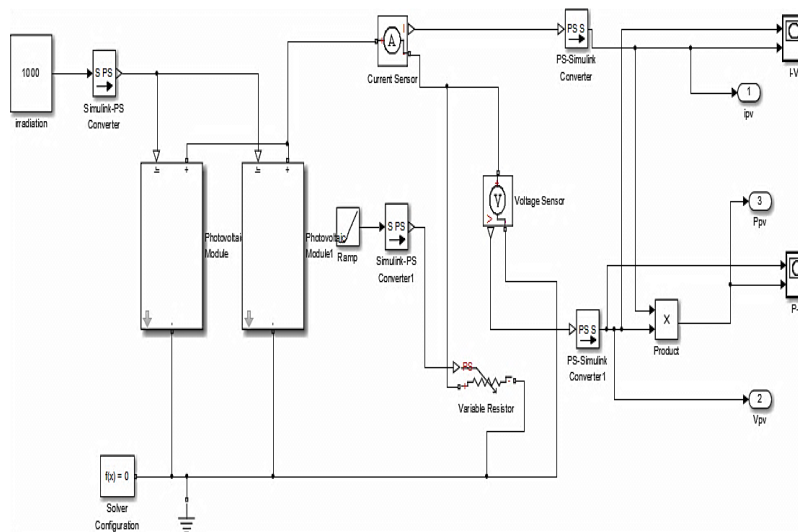
## 2. Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode pemodelan yang digunakan untuk mengetahui karakteristik modul surya dengan parameter berupa tegangan, arus dan daya maksimum yang digunakan untuk menganalisa kinerja dari panel surya. Untuk melakukan simulasi tersebut diperlukan data referensi sel surya komersial, data referensi yang digunakan merupakan panel surya  $150\text{ wp}$  greentek Polycrystalline yang telah dilakukan pengujian sesuai dengan standar ISO 9001:2008. Tahapan yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari tiga tahap. Tahap pertama adalah studi literatur, tahap kedua pemodelan modul sel surya, dan tahap ketiga adalah analisa karakteristik I-V dan P-V panel surya. Sel surya dapat dirangkai menjadi pemodelan ekuivalen sederhana dengan menghubungkan sumber arus dengan dioda p-n secara paralel. *Photocurrent*  $I_{ph}$  adalah besarnya keluaran dari sumber arus yang secara langsung didapat dari jatuhnya cahaya matahari ke sel surya. Pada kenyataannya aliran arus ini mengalami hambatan pada material semikonduktor dan resistansi eksternalnya. Sehingga perlu menambahkan resistor shunt  $R_p$  yang diparalel dengan dua dioda sebagai arus bocor dan resistor seri  $R_s$  sebagai tahanan dalam dari aliran arus. Komponen yang paling penting mempengaruhi dari simulasi ini adalah model *photovoltaic* (PV) sel. Pemodelan dari sel surya termasuk mengestimasi kurva nilai karakteristik dari I-V dan P-V sesuai dengan simulasi kondisi lingkungan sebenarnya. Pemodelan ini menggunakan modul Sel surya  $150\text{wp}$  Greentek *polycrystalline* (Tabel 1) yang terhubung secara paralel sebanyak  $36 \times 2$  sel surya.

Tabel 1. Spesifikasi greentek polycrystalline 150Wp

Deskripsi Spesifikasi	Keterangan
Daya maksimum( $P_{max}$ )	150 WP
Tegangan maksimum ( $V_{max}$ )	18,1
Arus maksimum ( $I_{max}$ )	8,29 A
Tegangan Open circuit ( $V_{oc}$ )	22,2 V
Arus short circuit ( $I_{sc}$ )	8,89 A
Jumlah Sel surya	4 x 9 ( 36 )
Luas modul	0,992 m <sup>2</sup>
Ruang temperature	-40°C sampai 85°C

Tahapan pertama pada pemodelan ini adalah membuat suatu subsistem utama menggunakan MATLAB Simulink yang diberikan pada Gambar 1 dibawah ini :



Gambar 1 Tampilan subsistem utama MATLAB Simulink untuk pemodelan Sel Surya

Fungsi subsistem ini sebagai tempat untuk merancang sistem yang akan diterapkan yang terdiri dari inputan iradiasi matahari serta terdapat komponen- komponen seperti *Simulink-PS Converter*, *Current sensor*, *Voltage sensor*, *Solver configuration*, *Variable resistor*, *Ramp block*, *product* dan *ground*. Dimana *Simulink PS-Converter* berfungsi untuk merubah sinyal masukan sumber iradiasi matahari menjadi sinyal fisik, *solver configurations* berfungsi sebagai pengumpul informasi agar semua parameter yang sudah digabungkan dapat disimulasikan sesuai dengan konfigurasi yang diinginkan, ketika kotak ini dipilih solver berusaha untuk menemukan kondisi tepat yang akan dihasilkan jika input ke sistem tetap konstan untuk waktu yang cukup besar, dimulai dari keadaan awal yang diperoleh dari perhitungan kondisi awal. *Current sensor* merupakan sensor arus ideal, yaitu perangkat yang mengubah arus yang diukur dalam cabang listrik menjadi sinyal fisik yang sebanding dengan arus. Koneksi + dan - adalah port yang melindungi listrik di mana sensor dimasukkan ke dalam rangkaian. Koneksi I adalah port sinyal fisik yang menampilkan hasil pengukuran. *Voltage sensor* merupakan sensor tegangan ideal, yaitu perangkat yang mengubah tegangan yang diukur antara dua titik dari rangkaian listrik menjadi sinyal fisik yang sebanding dengan tegangan. Koneksi + dan - adalah port melindungi listrik di mana sensor terhubung ke sirkuit. Koneksi tegangan adalah port sinyal fisik yang menampilkan hasil pengukuran. *Variable Resistor* memodelkan variabel linierresistor, dijelaskan dengan

persamaan  $V = I \times R$  (  $V$  : tegangan,  $I$  : arus,  $R$  : hambatan ) Koneksi + dan - adalah untuk menghemat port listrik yang berhubungan dengan terminal positif dan negatif dari resistor, masing-masing.  $P$  adalah port input sinyal fisik yang mengontrol nilai resistansi. Arus positif jika mengalir dari positif ke negatif, dan tegangan di resistor sama dengan perbedaan antara tegangan pada terminal positif dan negatif,  $V (+) - V (-)$ . *Ramp block* menghasilkan sinyal yang dimulai pada pada saat waktu dan perubahan dengan nilai yang ditentukan.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Pada pemodelan ini dilakukan pengujian karakteristik P-V dan I-V pada suhu  $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$  dengan iradiasi matahari yang diberikan  $1000\text{ W/m}^2$ . Kedua parameter tersebut ditentukan berdasarkan datasheet referensi yang bertujuan untuk mengetahui apakah rangkaian yang dibuat menghasilkan keluaran sesuai dengan referensi. Berdasarkan Tabel 2 menunjukkan bahwa hasil simulasi memiliki nilai parameter yang mendekati referensi dengan error yang sangat kecil dibawah 10 %.

**Tabel 2.** Perbandingan parameter datasheet referensi dan hasil simulasi

Karakteristik	Referensi	I : 1000 W/m <sup>2</sup>	error
Daya (W)	150	156,49	4%
Isc (A)	8,89	8,89	0%
Voc (V)	22,2	22,17	0%
I <sub>max</sub> (V)	8,29	8,42	2%
V <sub>max</sub> (V)	18,1	18,56	3%
$\eta$ (%)	15%	16,36%	9%

Pada pemodelan selanjutnya, dilakukan kembali pengujian karakteristik I-V dan P-V dengan dua modul yang diparalelkan pada keadaan yang sama dengan modul tunggal. Setiap penambahan panel sel surya akan menyebabkan hambatan pada rangkaian paralel panel sel surya akan semakin kecil, dan jika hambatan semakin kecil maka Arus semakin besar. berdasarkan hukum kirchoff mengenai rangkaian paralel yaitu tegangan akan bernilai tetap sedangkan arus akan bertambah menjadi  $I = I_1 + I_2$  dst. Sehingga penyusunan secara paralel akan mempengaruhi karakteristik I-V dan P-V. dimana  $V_{mp}$  yang diperoleh yaitu 18,698 Volt dan  $I_{mp}$  sebesar 16,769 A dan *Fill Factor* yang didapat yaitu 0,795. Nilai tersebut masih dalam standar atau ideal. Tabel 3 menunjukkan parameter yang didapatkan pada simulasi.

**Tabel 3.** Hasil simulasi modul sel surya paralel

Karakteristik	I : 1000 Watt/m <sup>2</sup>
Daya (W)	313,20
Isc (A)	17,78
Voc (V)	22,17
I <sub>max</sub> (V)	16,74
V <sub>max</sub> (V)	18,69
$\eta$ (%)	16,36
FF	0,79
P <sub>max</sub> (Watt)	313,20
A (m <sup>2</sup> )	0,95
2A (m <sup>2</sup> )	1,91

Berdasarkan Tabel 3.2 diperoleh daya maksimal modul sel surya paralel yang dihasilkan adalah 313,653 watt dengan efisiensi 16,368 %. Kemudian dilakukan pengujian karakteristik P-V dan I-V modul sel surya paralel pada suhu  $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$  dengan variasi iradiasi matahari yang ditentukan yaitu  $1000\text{ W/m}^2$ ,  $800\text{ W/m}^2$ ,  $600\text{ W/m}^2$ ,  $400\text{ W/m}^2$ ,  $200\text{ W/m}^2$  dengan tujuan untuk mengetahui karakteristik modul sel surya paralel dari berbagai variasi iradiasi matahari. Semakin berkurangnya iradiasi matahari menyebabkan pengurangan  $I_{sc}$ , sedangkan  $V_{oc}$  memiliki nilai yang relatif konstan sebesar 20 Volt. Parameter modul sel surya hasil pengukuran ditunjukkan dalam Tabel 4. Berdasarkan Tabel 4, didapatkan  $I_{mpp}$  16,75 A dan  $V_{mpp}$  18,69 Volt dengan  $P_{mpp}$  313,20 watt sebagai *maximum power point* (Mpp) diperoleh pada  $V_{oc}$  22,17 Volt dan  $I_{sc}$  17,78 A. Jika dibandingkan dengan datasheet  $I_{sc}$  17,78 A dan  $V_{oc}$  22,2 Volt terdapat error pada  $I_{sc} = 0\%$  dan error pada  $V_{oc} = 0,10\%$  yang menunjukkan bahwa tidak ada kesalahan pada  $I_{sc}$  dan terdapat error pada  $V_{oc}$  yang tidak mencapai 1 %. Perubahan iradiasi matahari menyebabkan terjadinya perubahan yang signifikan pada arus short circuit sedangkan tegangan open circuit relatif tetap. Berdasarkan data hasil perhitungan menunjukkan bahwa  $I_{sc}$  meningkat sekitar 3,5 V seiring meningkatnya iradiasi matahari seiring dengan peningkatan daya yang dihasilkan secara linier dengan efisiensi yang relatif tetap berada diantara 15 % - 16 % sesuai dengan bahan sel surya yang digunakan.

**Tabel 4** Karakteristik modul sel surya dengan variasi iradiasi matahari

Karakteristik	I = 200	I = 400	I = 600	I = 800	I=1000
	W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>
Daya (W)	56,33	118,01	181,76	247,13	313,20
$I_{sc}$ (A)	3,55	7,11	10,66	14,22	17,78
$V_{oc}$ (V)	20,24	21,07	21,56	21,90	22,17
$I_{max}$ (V)	3,32	6,73	9,87	13,35	16,75
$V_{max}$ (V)	16,92	17,53	18,40	18,51	18,69
$\eta$ (%)	14,71	15,41	15,83	16%	16,36

#### 4. Kesimpulan

Perhitungan daya panel surya pada modul tunggal dengan iradiasi  $1000\text{ W/m}^2$  menunjukkan hasil yang relatif sama (error 4%) dengan datasheet referensi sehingga dapat dikatakan bahwa program simulasi yang dilakukan sesuai dengan daya maksimum yaitu 150 watt dengan efisiensi sebesar 15%. Karakteristik Arus– tegangan dan daya–tegangan panel surya pada modul yang disusun secara paralel dengan iradiasi  $1000\text{ W/m}^2$  menunjukkan bahwa rangkaian paralel akan meningkatkan  $I_{sc}$  dua kali lipat dari modul tunggal sedangkan  $V_{oc}$  tetap konstan yaitu  $I_{sc} = 17,78\text{ A}$  dan  $V_{oc} = 22,1758\text{ V}$  yang menyebabkan daya maksimum yang dihasilkan meningkat menjadi 313,2 watt dengan efisiensi 16,36 %. Intensitas radiasi sangat mempengaruhi besar kecilnya arus yang dihasilkan, dimana semakin besar iradiasi matahari yang diberikan maka akan menyebabkan peningkatan arus dari sel surya. Dari hasil simulasi pada modul paralel ini daya dan efisiensi maksimal ada pada iradiasi matahari  $1000\text{ Watt / m}^2$  dengan  $P_{maks} = 313,2\text{ watt}$  dengan efisiensi 16,36 % sedangkan untuk modul tunggal menghasilkan  $P_{maks} = 156\text{ watt}$  dengan efisiensi 15,6%

#### Referensi

- [1] Messenger R. and Ventre J. Photovoltaic Systems Engineering. CRC Press. 2000: 41-51.
- [2] Wardhana, A S. Pengaruh suhu pada modul 100 wp menggunakan pemodelan dan simulasi 36 sel *photovoltaic*. Jurnal ESDM, Volume 6, Nomor 2, November 2014, hlm. 82-88
- [3] Kroposki B., DeBlasio R. Technologies for the New Millennium: Photovoltaics as a

- Distributed Resource. Power Engineering Society Summer Meeting. IEEE. 16- 20 Juli 2000;3:1798-1801.
- [4] Ariswan. 2005. *Prospek Penelitian dan Aplikasi Fotovoltaik sebagai Sumber Energi Alternatif di Indonesia*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta. Hlm 2-3
- [5] Green, Martin A. *Solar Cells: Operating Principles, Technology, and System Applications*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, Inc., 1982.
- [6] Luque, A., & Hegedus, S. (2003). Status, Trends, Challenges and the Bright Future of Solar Electricity from Photovoltaics. In *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering* (pp. 1-41). John Wiley & Sons, LTD
- [7] Castaner, L., & Silvester, S. (2002). *Modelling Photovoltaic System using PSpice*. Barcelona: John Wiley & Sons, LTD.
- [8] Wibowo, Arymukti, Hadi Nasbeydan Satwiko Sidopekso. 2011. *Pengukuran I-V dengan Menggunakan Sun Simulator Sederhana*. Jakarta: Universitas Negeri Jakarta. Hlm 80
- [9] Dewi. Ardiani E. 2007. *Optimalisasi rangkaian panel sel surya dengan menggunakan battery pb-acid sebagai sistem penyimpanan energi surya*. Surakarta: Universitas sebelas maret.