

Model and Analysis of Photovoltaic Modules with Irradiation and Temperature Variations using Simulation Technology

Model dan Analisis Modul *Photovoltaic* dengan Variasi Iradiasi dan Temperatur menggunakan Teknologi Simulasi

Rahmaniar¹, Khairul², Agus Junaidi³, Debby Keumala Sari⁴

rahmaniar@dosen.pancabudi.ac.id¹, Khairul@dosen.pancabudi.ac.id², agusjunaidi@unimed.ac.id³, debbykaumala@gmail.com⁴

Universitas Pembangunan Panca Budi¹, Universitas Pembangunan Panca Budi²
Universitas Negeri Medan³, Universitas Pembangunan Panca Budi⁴

Abstract. *This article discusses the modeling and analysis of Photovoltaic (PV) modules with irradiation and temperature variations using simulation technology. Modeling is carried out on solar modules through the p-n junction principle, a PV module model with temperature independence of photocurrent sources, diode saturation currents, and series resistances based on the Shockley diode equation. The photovoltaic process of solar radiation, PV cells convert a portion of the photovoltaic potential directly into electricity with I-V and P-V output characteristics. Electromagnetic radiation from the sun's energy is converted into electricity through the photovoltaic effect. The photovoltaic module simulation process with Matlab/Simulink, is carried out to observe the performance through the I-V and P-V characteristics of the solar module. The model, which is developed in a user-friendly manner using the Simulink block, shows the results of the PV characteristics when irradiation increases, the output current increases and the output voltage also increases. This results in a net increase in power output with increased irradiation at constant temperature.*

Keywords - Photovoltaic (PV); Irradiation; Temperature; I-V and P-V Characteristics; Simulation

Abstrak. *Artikel ini membahas tentang model dan analisis modul Photovoltaic (PV) dengan variasi iradiasi dan suhu menggunakan teknologi simulasi. Pemodelan dilakukan pada modul surya melalui prinsip sambungan p-n, sebuah model modul PV dengan independensi suhu sumber arus foto, arus saturasi dioda, dan resistansi seri berdasarkan persamaan dioda Shockley. Proses photovoltaic radiasi sinar matahari, sel PV mengubah sebagian dari potensi fotovoltaiik langsung menjadi listrik dengan karakteristik keluaran I-V dan P-V. Radiasi elektromagnetik dari energi matahari diubah menjadi listrik melalui efek fotovoltaiik. Proses simulasi modul fotovoltaiik dengan Matlab/ Simulink, dilakukan untuk mengamati unjuk kerja melalui karakteristik I-V dan P-V dari modul surya. Model yang disusun dengan user-friendly menggunakan blok Simulink, menunjukkan hasil karakteristik PV ketika iradiasi meningkat, arus output meningkat dan tegangan output juga meningkat. Hal ini menghasilkan peningkatan bersih dalam output daya dengan peningkatan iradiasi pada suhu konstan.*

Kata Kunci - Photovoltaic (PV); Iradiasi; Temperature; Karakteristik I-V dan P-V; Simulasi

I. PENDAHULUAN

Photovoltaic (PV) merupakan teknologi yang menghasilkan tenaga listrik arus searah (DC) dari panel surya (solar cell) semikonduktor saat disinari oleh foton dinyatakan dalam Watts (W) atau kiloWatts (kW). Proses konversi energi listrik dari sel surya berlangsung secara terus menerus dikenal dengan istilah Energi Baru Terbarukan (EBT). Pemanfaatan EBT sebagai energi alternatif untuk pembangkit listrik terus dikaji dan diimplementasikan dalam upaya mengatasi krisis energi minyak dan gas bumi. Teknologi modul fotovoltaiik sebagai bagian dari sumber EBT memberi kontribusi penting dalam mendukung sistem ketenagalistrikan yang menopang pertumbuhan ekonomi. Dukungan EBT melalui inovasi pembangkit listrik dengan akses yang terjangkau dan berkelanjutan menjadi faktor penting bagi suatu negara dalam pembangunan ekonomi, kemajuan industri dan kesejahteraan masyarakat. Di Negara India, pertumbuhan dan akses ke tenaga listrik yang terjangkau dan berkelanjutan adalah kebutuhan mendasar, permintaan listrik di India terus meningkat dan masih didominasi oleh pasokan berbasis batubara, karena industrialisasi dan urbanisasi [1].

PV menjadi simbol teknologi untuk sistem pasokan energi berkelanjutan di masa depan di banyak negara, termasuk Indonesia. Sejumlah besar uang diinvestasikan dalam penelitian, pengembangan, implementasi EBT pada sektor tenaga listrik. Pemerintah membuat program pengenalan pasar yang substansial dan industri berinvestasi dalam fasilitas produksi energi listrik berbasis EBT, namun masih tergolong masih rendah kisaran 18,2% EBT dibanding dengan pembangkit tenaga listrik batu bara. Capaian produksi listrik tahun 2020 mencapai 292,0 TWh untuk system on grid

dan off grid bersumber dari pembangkit Perusahaan Listrik Negara (PLN) dan non PLN. Sekitar 62,0% produksi listrik berasal dari Pembangkit Listrik Tenaga Batubara, 18,2% EBT, 17,6% gas, dan minyak hanya 2,3%. Realisasi kapasitas pembangkit listrik energi baru terbarukan (EBT) hingga akhir 2020 mencapai 10.467 megawatt (MW). Tren kenaikan kapasitas pembangkit EBT pun masih terus berlanjut berasal dari sejumlah proyek [2].

Potensi EBT dari energi surya di Indonesia pada katagori cukup baik, berdasarkan peta potensi EBT surya di beberapa daerah. Intensitas matahari terbesar ditemui di wilayah Banten, Jawa Barat, Jawa Tengah, Nusa Tenggara dan Papua. Namun secara teknis wilayah Sumatera Utara, Sumatera Selatan, Kalimantan Barat, Kalimantan Timur secara umum memiliki potensi cukup ditinggi dibandingkan dengan Provinsi lain. Khusus untuk provinsi Sumatera Utara berada pada urutan ke 4 dari 34 provinsi. Potensi PLTS sebesar 11.851 MW. Saat ini, pemanfaatan EBT khususnya tenaga surya tergolong rendah, terlihat dari data yang dilansir oleh laporan evaluasi Dewan Energi Nasional (DEN, 2022).

Pemanfaatan EBT surya masih pada katagori minim hal ini dipengaruhi oleh factor terkait sifat PLTS yang intermitten. yakni tegangan dan frekuensi yang dapat berubah drastic dipengatuhi kondisi penyinaran matahari yang dapat berubah drastis jika terjadi efek bayangan oleh awan dan lingkungan sekitar. Namun demikian potensi EBT surya memiliki prospek yang sangat baik dan perlu dikemabangkan dalam upaya mendukung implementasi Surya sebagai pembangkit listrik[3]. Rekonstruksi dan Pembangunan potensi EBT dan investasi multilateral dari industry memberikan jaminan pemasokan energi yang andal dan berkelanjutan, untuk peningkatan kapasitas tenaga listrik terpasang. Teknologi fotovoltaik surya (PV) telah menjadi pilihan pasokan energi yang semakin penting. Penurunan biaya pembangkit listrik tenaga surya PV yang substansial (pengurangan 80% sejak 2008) telah meningkatkan daya saing PV tenaga surya, mengurangi kebutuhan subsidi dan memungkinkan tenaga surya untuk bersaing dengan pilihan pembangkit listrik lainnya di beberapa pasar. Sementara sebagian besar proyek tenaga surya yang beroperasi berada di negara maju [4]. Di Negara Indonesia yang kaya dengan sumber EBT dan potensi kekayaan geografisnya, potensi EBT Indonesia untuk pembangkit listrik sebesar 3,868 GW, Beberapa sumber EBT yang dapat menghasilkan listrik seperti tabel 1.

Tabel 1. Potensi EBT di Indonesia

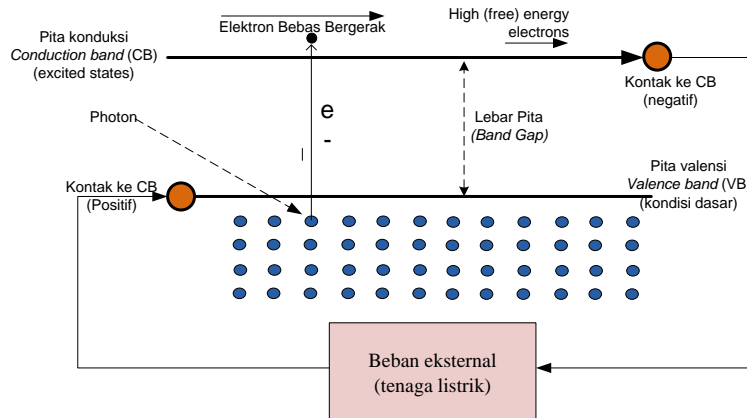
Energi	Potensi	Pemanfaatan
Surya	3.295	0,27
Hydro	95	6,69
Bio Energi	57	3,09
Bayu	155	0,15
Panas Bumi	24	2,34
Laut	60	0
Total	3,686	12,54

Sumber: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2023

Dari tabel 1 dapat dilihat bahwa aspek pemanfaatan potensi EBT dari tenaga surya untuk pembangkit listrik tergolong sangat rendah, hal ini dapat dilihat dari pemanfaatan EBT Surya sebagai sumber alternatif pembangkit listrik baru dimanfaatkan sekitar 0.008194%, hal ini menunjukkan bahwa potensi PV Panel surya perlu ditingkatkan kembali untuk mengoptimalkan target capaian bauran energi nasional.

II. MODEL MATEMATIK MODUL PHOTOVOLTAIC

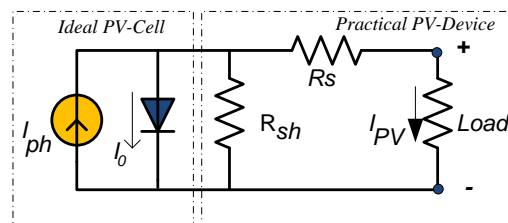
Prinsip operasi PV, Sel surya terbuat dari bahan disebut semikonduktor, yang memiliki elektron berikatan lemah yang menempati pita energi yang disebut pita valensi. Ketika energi yang melebihi ambang batas tertentu, yang disebut energi celah pita, diterapkan pada elektron valensi, ikatannya terputus dan elektron "bebas" untuk bergerak dalam pita energi baru yang disebut pita konduksi di mana ia dapat "menghantarkan" listrik melalui materi. Dengan demikian, elektron bebas pada pita konduksi dipisahkan dari pita valensi oleh celah pita (diukur dalam satuan volt elektron). atau eV). Energi yang dibutuhkan untuk membebaskan elektron ini dapat disuplai oleh foton, yang merupakan partikel cahaya. Gambar 1. menunjukkan hubungan ideal antara energi (sumbu vertikal) dan batas spasial (sumbu horizontal). Ketika sel surya terkena sinar matahari, foton mengenai elektron valensi, memutus ikatan dan memompanya ke pita konduksi. Di sana, kontak selektif yang dibuat khusus mengumpulkan elektron pita konduksi mendorong elektron tersebut ke sirkuit eksternal. Elektron kehilangan energinya dengan melakukan pekerjaan di sirkuit eksternal seperti memompa air, memutar kipas angin, menggerakkan motor mesin jahit, bola lampu, atau komputer, dikembalikan ke sel surya dengan loop balik dari sirkuit melalui kontak selektif kedua, yang mengembalikan mereka ke pita valensi dengan energi yang sama dengan yang mereka mulai. Pergerakan elektron ini di sirkuit eksternal dan kontak disebut arus listrik. Potensi di mana elektron dikirim ke dunia luar sedikit lebih kecil dari energi ambang yang membangkitkan elektron; yaitu celah pita. Jadi, dalam bahan dengan celah pita 1 eV, electron dieksitasi oleh foton 2 eV atau oleh foton 3 eV keduanya masih memiliki potensial sedikit kurang dari 1 V (yaitu elektron dikirim dengan energi 1 eV). Tenaga listrik dihasilkan adalah hasil kali arus dengan tegangan; yaitu, daya adalah jumlah elektron bebas dikalikan potensinya [5]. Prinsip P-V ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Skema Sel PV

Gambar 1, menunjukkan prinsip Skema Sel PV. Elektron diinjeksi oleh foton dari pita valensi ke pita konduksi. Di sana mereka diekstraksi oleh kontak selektif ke pita konduksi semikonduktor n-doped (*n*-doped semiconductor) pada energi (bebas) yang lebih tinggi dan dikirim ke dunia luar melalui kabel, di mana mereka melakukan beberapa pekerjaan yang berguna, kemudian dikembalikan ke pita valensi pada energi (bebas) yang lebih rendah oleh kontak selektif ke pita valensi (semikonduktor tipe-p).

Sel surya pada dasarnya adalah merupakan p-n junction yang dibuat lapisan tipis semikonduktor. Radiasi elektromagnetik dari sumber energi matahari dapat langsung diubah menjadi listrik melalui efek fotovoltaik. Efek fotovoltaik mengubah energi dari sinar matahari menjadi energi listrik. Teknologi fotovoltaik mengkonversi radiasi matahari menjadi energi listrik dengan pemanfaatan baterai sebagai penyimpanan energi listrik yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Rangkaian ekuivalen sel PV seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian dioda sebagai Model Sel PV

Rangkaian ekuivalen pada gambar 2, menunjukkan sebuah modul PV terdiri sel surya yang dihubungkan secara seri dan paralel untuk mendapatkan output tegangan dan arus yang diinginkan. Setiap sel surya pada dasarnya adalah dioda *p-n*. Saat sinar matahari merempas sel surya, energi yang datang diubah langsung menjadi energi listrik tanpa upaya mekanis apa pun. Cahaya yang ditransmisikan diserap dalam semikonduktor, dengan menggunakan energi cahaya ini untuk membangkitkan elektron bebas dari status energi rendah ke tingkat energi kosong yang lebih tinggi. Ketika sel surya diterangi, kelebihan pasangan elektron-lubang dihasilkan di seluruh sel surya, sehingga sambungan p-n mengalami hubungan listrik dan akan arus mengalir. I_{ph} mewakili arus foto sel sementara R_{sh} dan R_s masing-masing adalah shunt intrinsik dan resistansi seri modul PV.

Pemodelan matematis PV [6-8], sumber arus I_{ph} mewakili arus foto sel. R_{sh} dan R_s masing-masing adalah shunt intrinsik dan resistansi seri sel. Biasanya nilai R_{sh} sangat besar dan nilai R_s sangat kecil, sehingga dapat diabaikan untuk menyederhanakan analisis. Sel PV dikelompokkan dalam unit yang lebih besar yang disebut modul PV yang selanjutnya saling berhubungan dalam rangkaian paralel konfigurasi untuk membentuk array PV. Sel PV dikelompokkan menjadi lebih besar unit yang disebut modul PV, yang selanjutnya saling berhubungan dalam konfigurasi seri-paralel untuk membentuk susunan PV. Persamaan dasar dari teori semikonduktor dan fotovoltaik yang secara matematis menggambarkan karakteristik I-V dari sel dan modul fotovoltaik. I_{ph} dari modul fotovoltaik bergantung secara linier pada penyinaran matahari dan juga dipengaruhi oleh suhu dinyatakan dalam persamaan (1):

$$I_{ph} = [I_{SCR} + K_i(T_k - T_{ref})] * \frac{\lambda}{1000} \quad (1)$$

di mana I_{ph} (A) adalah arus yang dihasilkan cahaya pada nominal kondisi (25°C dan 1000 W/m²), K_i adalah koefisien arus hubung singkat persatuan suhu (0,0017A/K), T_k dan T_{ref} masing-masing adalah suhu aktual dan referensi dalam Kelvin (K), λ adalah iradiasi pada permukaan perangkat dalam satuan (W/m²), dan iradiasi nominal adalah 1000 W/m². Detail model Simulink akan disusun model dan simulasi I_{ph} ditunjukkan pada Gambar 2. Nilai arus hubung singkat modul adalah I_{SCR} yang diambil dari lembar data model referensi I_{ph} untuk nilai insolasi dan suhu yang berbeda ditunjukkan pada Tabel 1.

Persamaan untuk modul arus reverse saturasi (I_{rs}), adalah:

$$I_{rs} = I_{SCR} / [\exp(qV_{OC} / N_s kAT) - 1] \quad (2)$$

Arus saturasi untuk I_0 bervariasi dengan suhu sel, yang diberikan dalam persamaan 3:

$$I_0 = I_{rs} \left[\frac{T}{T_r} \right]^3 \exp \left[\frac{q^* E_{g0}}{Bk} \left\{ \frac{1}{T_r} - \frac{1}{T} \right\} \right] \quad (3)$$

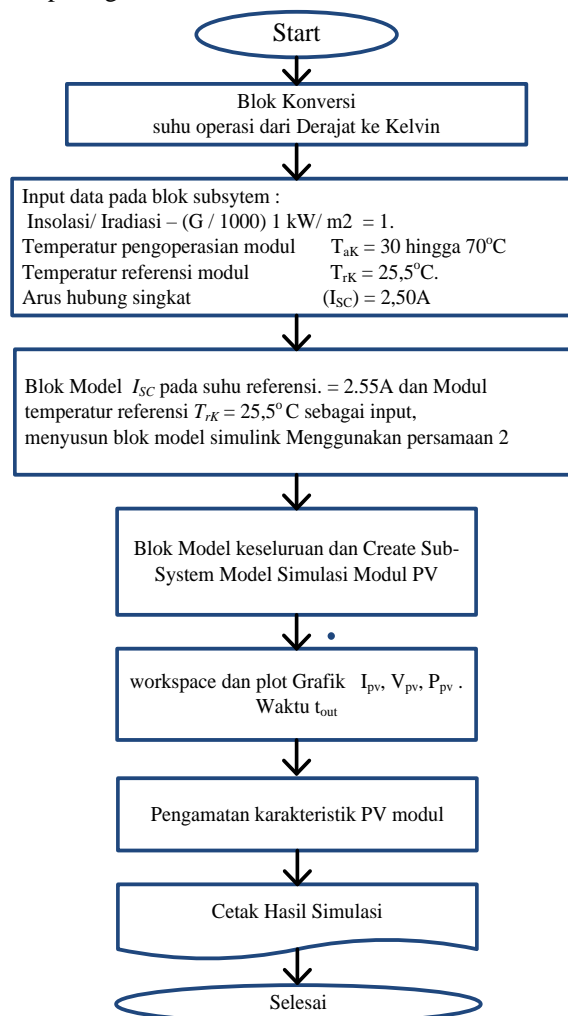
Untuk output modul PV, di tulis dalam persamaan 4:

$$I_{pv} = N_p * I_{ph} - N_p * I_0 \left[\exp \left\{ \frac{q^* (V_{pv} + I_{pv} R_s)}{N_s A k T} \right\} - 1 \right] \quad (4)$$

Dimana $V_{pv} = V_{oc}$, $N_p = 1$ dan $N_s = 36$

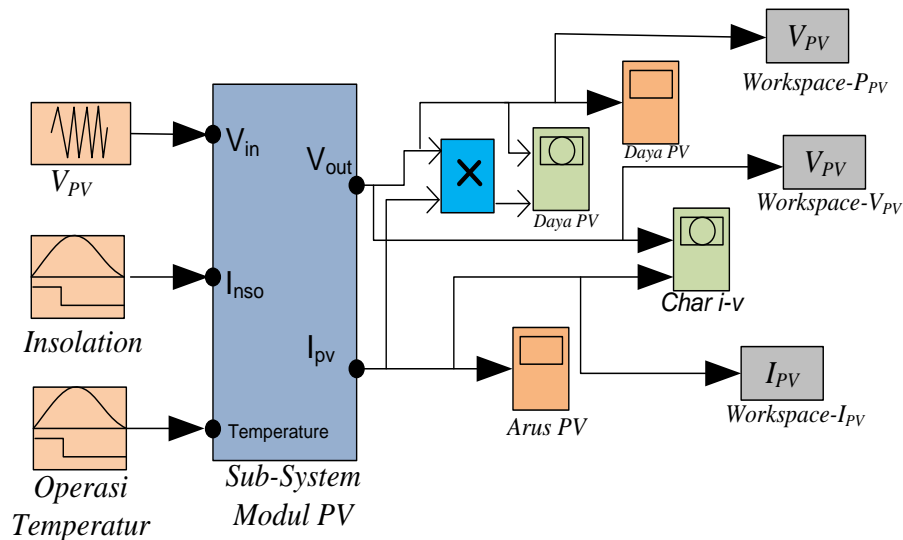
III. METODOLOGI

Model modul PV dengan kompleksitas sedang termasuk independensi suhu sumber arus foto, arus saturasi dioda, dan resistansi seri diasumsikan berdasarkan persamaan dioda Shockley, disinari dengan radiasi sinar matahari, sel PV mengubah sebagian dari potensi fotovoltaiik langsung menjadi listrik dengan karakteristik keluaran I-V dan P-V. Model dan simulasi PV dengan menggunakan persamaan (1) sampai dengan (4) disimulasikan dengan blok simulink matlab dengan tahapan, seperti ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Tahapan Rancangan Simulasi PV

Tahapan model simulasi pada gambar 3, disusun berdasarkan persamaan matematis modul PV yang ditulis dalam persamaan 1 sampai dengan 4. Blok Simulink lengkap akan disusun seperti ditunjukkan pada gambar 4



Gambar 4. Blok Model simulasi modul PV

Gambar 4, menunjukkan model simulasi yang digunakan dalam mengamati karakteristik modul PV. Model pada gambar 4 dengan input iradiasi, suhu operasi dalam Celcius dan tegangan modul sebagai masukan dan memberikan arus keluaran I_{pv} dan tegangan keluaran V_{pv} . Plot grafik menggunakan simulink Matlab dengan blok grafik XY dengan pengamatan simulasi meliputi (V_{pv}, I_{pv}) dan karakteristik sinyal dari ($tout, I_{pv}$). Karakteristik I-V dan P-V di bawah penyinaran yang bervariasi dengan suhu konstan akan menjadi bagian dalam pengamatan simulasi modul PV. Prosedur tahapan untuk memodelkan modul PV disusun dalam model Simulink dengan pedoman persamaan dan prosedur pemodelan matematis untuk mendapatkan karakteristik modul PV I-V dan P-V.

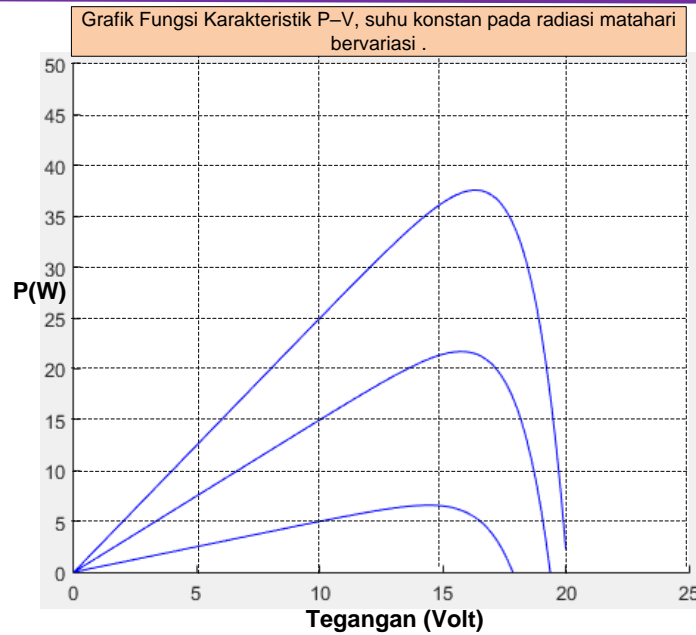
Modul Solar make 36 W PV diambil sebagai referensi modul untuk simulasi dan detail data sistem yang digunakan ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Data Modul Panel Surya

Data	Parameter/Nilai
Rating Daya	37 W
Koefesien Temperatur Hubung Singkat (K_i)	$0,0012 \text{ A}^0\text{C}$
Open Circuit Voltage (VOC)	20,5 V
Short Circuit Careent I_{SCr}	2,32 A
N_s (jumlah sel yang terhubung secara seri)	41
N_p (jumlah sel yang terhubung secara paralel)	1
k (konstanta Boltzman)	$1,3805 \times 10e^{-23} \text{ J/K}$
q (muatan Elektron)	$1,6 \times 10e^{-19} \text{ C}$
$A = B$ (faktor idealitas)	1,6
Temperatur (K)	273 K

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

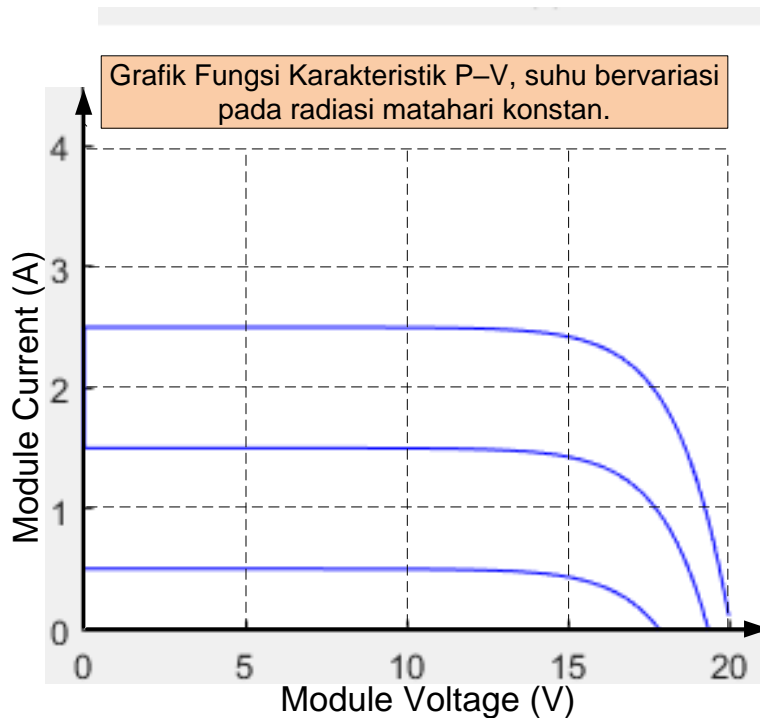
Simulasi Model PV berdasarkan Persamaan Dioda Shockley dengan Pengaruh *Irridation* dan *Temperatur*. Model matematis modul PV surya yang berbasis pada blok gambar 4 berdasar dari sumber arus, resistor dioda, seri dan paralel dikembangkan dalam prosedur langkah demi langkah menggunakan persamaan (1) sampai dengan persamaan (4). Simulasi modul surya dipilih sebagai model referensi dan menyediakan parameter input untuk pemodelan pengamatan kurva karakteristik untuk radiasi dan suhu yang diberikan sebagai parameter masukan. Pengamatan Simulasi-I: (P-V), simulasi variasi radiasi matahari $\{200 \text{ W/m}^2; 600 \text{ W/m}^2; 1000 \text{ W/m}^2\}$ dengan suhu konstant 25^0C menghasilkan hasil simulasi terlihat pada gambar 4.



Gambar 4. Variasi Radiasi Matahari {0,2; 0,6; 1} dengan suhu konstant 25⁰C

Pada gambar hasil simulasi gambar 4, grafik di atas menunjukkan ketika iradiasi meningkat, Output arus meningkat Tegangan output juga meningkat. Hal ini menghasilkan peningkatan bersih dalam output daya dengan peningkatan iradiasi pada suhu konstan.

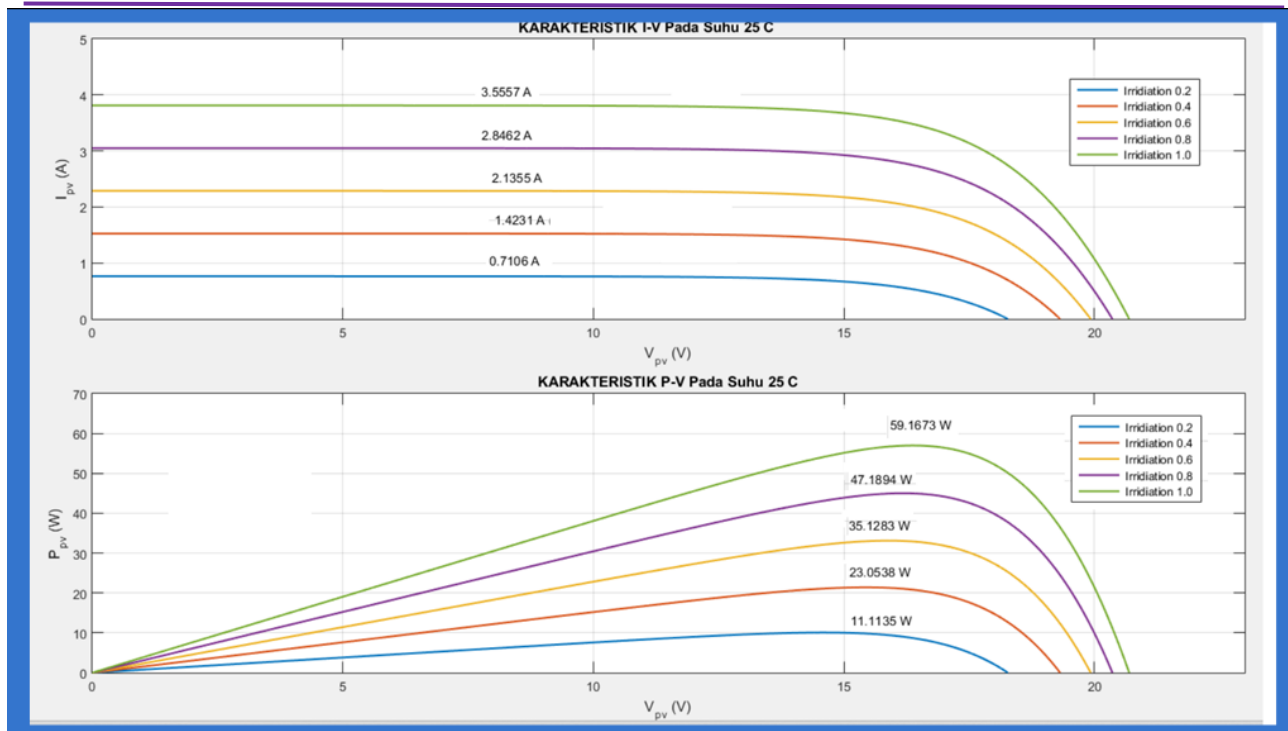
Pengamatan Simulasi II: Karakteristik I-V di bawah konstanta iradiasi dengan suhu yang bervariasi dalam satuan derajat celcius {25⁰C;50⁰ C;75⁰ C }



Gambar 5. Karakteristik Variasi Suhu {25⁰C;50⁰ C;75⁰ C } dengan Radiasi Matahari Konstant

Gambar 5, menunjukkan grafik hasil simulasi menunjukkan performasi ketika suhu operasi meningkat, output saat ini meningkat sedikit tetapi output tegangan menurun drastis menghasilkan pengurangan bersih dalam output daya dengan kenaikan suhu hasilnya diverifikasi berdasarkan teori hubungan antara arus dan tegangan akibat kenaikan suhu pada panel surya terdapat kesesuaian hasil karakteristik.

Uji coba simulasi dengan perubahan penyinaran matahari dan perubahan suhu, lebih lanjut dilakukan dengan beberapa variasi data dengan hasil simulasi ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 7. Hasil Simulasi beberapa kondisi pengaruh Irradition dengan temperatur konstant terhadap arus dan daya keluaran PV

Gambar 7, menunjukkan hasil keluaran simulasi yang menggambarkan penurunan arus dan daya keluaran akibat perubahan penyinaran matahari, dengan mengasumsikan suhu pada nilai konstant 25°C, semakin tinggi pengaruh irradiation semakin besar I dan P dari keluaran Panel Surya, ditunjukkan pada tabel 3

Tabel 3. Hasil simulasi kondisi pengaruh Irradition dengan temperatur konstan 25°C terhadap arus dan daya keluaran PV

No	Variasi Irradiation	PV I-V (A)	PV P-V (W)
1	0,2	0,71	11,11
2	0,4	1,42	23,05
3	0,6	2,13	35,12
4	0,8	2,84	47,18
5	1	3,55	59,16

Dari tabel hasil simulasi (Tabel 3), dapat dilihat bahwa pengaruh penyinaran terhadap daya outpun panel surya berbanding lurus, semakin besar nilai parameter irradiation, semakin tinggi hasil PV I-V dan PV P-V dari keluaran sel surya. Sejalan dengan simulasi pada riset yang dilakukan terkait hubungan antara arus pada sel surya dan suhu adalah linier. Ketika sel tidak menyala, hubungan antara tegangan dan arus terminal sel menurun diberikan dengan persamaan Shockley. Ketika sel disinari, arus foto mengalir di dioda. Kurva I-V dengan daya keluaran meningkat [9-10], dan terdapat pengaruh bayangan sebagai penyebab berkurangnya irradiation berdampak terhadap penurunan daya keluaran sel surya [11].

V. KESIMPULAN

Modul PV dimodelkan dengan menggunakan Matlab Simulink. Parameter model didasarkan pada persamaan 1-4. n. Nilai dari setiap perhitungan dalam model Simulink diverifikasi dengan perhitungan teoritis yaitu berdasarkan persamaan membuktikan bahwa simulasi sesuai dengan karakteristik dan performa modul PV. Prosedur langkah demi langkah untuk memodelkan modul PV disajikan pada simulasi menunjukkan karakteristik hasil peningkatan suhu pada PV berdampak terhadap pengurangan daya keluaran PV. Prosedur pemodelan matematis ini berfungsi sebagai bantuan untuk mendorong lebih banyak orang ke dalam penelitian fotovoltaik dan mendapatkan pemahaman yang lebih dekat tentang karakteristik modul PV I-V dan P-V. Panel surya yang terbuat dari elemen yang menyerap energi foton dari sinar matahari dikonversi mengubahnya listrik. Radiasi matahari yang diserap pada lempengan panel surya berdampak terhadap kenaikan temperature sel. Dampak kenaikan temperatur mengakibatkan daya listrik yang dihasilkan oleh PV menjadi berkurang

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih peneliti sampaikan kepada Universitas Pembangunan Panca Budi yang telah memberikan support melalui dana penelitian internal UNPAB, dalam penyelesaian riset pada bidang kajian Energi Baru Terbarukan.

REFERENSI

- [1]. Kanchan, S., Kumarankandath, A. “*The Indian power sector: Need of sustainable energy access*”, IPPAI knowledge report, 126-140. <http://cdn.cseindia.org/>. 2015 attachments/0.61046700_1505884602_The-Indian-Power-Sector.pdf.
- [2]. DEN-Dewan Energi Nasional, “*Laporan Hasil Analisis Neraca Energi Nasional*” 2021.
- [3]. Agus Praditya dkk, IESR, “ *Laporan Status Energi Bersih Indonesia: Potensi, Kapasitas Terpasang, dan Rencana Pembangunan Pembangkit Listrik Energi Terbarukan*”, Institute for Essential Services Reform (IESR). 2019
- [4]. International Finance Corporation-IFC ,”*Utility-Scale Solar Photovoltaic Power Plants In Partnership With A Project Developer’s Guid*”, Washington , Pennsylvania Avenue, N.W. 2015
- [5]. Steven S. Hegedus and Antonio Luque, “ *Status, Trends, Challenges and the Bright Future of Solar Electricity from Photovoltaics*”,*Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*. Edited by A. Luque and S. Hegedus © 2003 John Wiley & Sons, Ltd ISBN: 0-471-49196-9
- [6]. S.Chowdhury, S.P.Chowdhury, G.A.Taylor, and Y.H.Song, “*Mathematical Modeling and Performance Evaluation of a Stand-Alone Polycrystalline PV Plant with MPPT Facility*,” IEEE Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, July 20-24, Pittsburg, USA. 2008
- [7]. Jee-Hoon Jung, and S. Ahmed, “*Model Construction of Single Crystalline Photovoltaic Panels for Real-time Simulation*,” IEEE Energy Conversion Congress & Expo, September 12-16, Atlanta, USA. 2010
- [8]. S. Nema, R.K.Nema, and G.Agnihotri, “*Matlab / simulink based study of photovoltaic cells / modules / array and their experimental verification*,” International Journal of Energy and Environment, pp.487-500, Volume 1, Issue 3, 2010.\
- [9]. Geoff Walker. “*Evaluating Mppt Converter Topologies using A Matlab PV Model*”,Dept of Computer Science and Electrical Engineering, © University of Queensland, Australia. 2020.
- [10]. Asnil, Krismadinata, Irma Husnaini, Erita Astrid,” *Design And Performance Of Dual Axis Solar Tracker Based On Light Sensors To Maximize The Photovoltaic Energy Output*”, Journal Of Theoretical And Applied Information Technology Vol.100. No 22 ISSN: 1992-8645. 2022
- [11]. Rahmaniar, Kahirul, Agus Junaidi,” *Analysis of Shadow Effect on Solar PV Plant using Helioscope Simulation Technology in Palipi Village*” . Jurnal Teknik Elektro dan Vokasional (JTEV). ISSN 2302-3309 Vol. 9 No. 1. 2023