

PEMODELAN DAN SIMULASI *ON-GRID PHOTOVOLTAIC* DENGAN *GRID-TIED INVERTER* MENGGUNAKAN MATLAB/SIMULINK

¹Sripanus Sungkalang*, ²Eva Magdalena Silalahi, ³Bambang Widodo

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia,

^{2,3}Dosen Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia

^{1,2,3}Jl. Mayjen Sutoyo No.2 Cawang, Jakarta Timur 13630, DKI Jakarta

²eva.silalahi@uki.ac.id, ³bambang.widodo@uki.ac.id

*Corresponding author: ¹sungkalangs@gmail.com

Abstrak

Pembangkit listrik tenaga surya merupakan salah satu dari pembangkit *renewable energy* yang ramah lingkungan karena memanfaatkan sinar cahaya matahari, yang dapat diserap oleh *photovoltaic (PV)*. Tujuan penelitian ini yaitu membuat dan menganalisis pemodelan dan simulasi *on-grid photovoltaic* menggunakan *grid-tie inverter* berbasis Matlab/Simulink, dan selanjutnya menganalisis besaran listrik PV berdasarkan data real time iradiasi matahari dan temperatur. Berdasarkan hasil pemodelan dan simulasi, diperoleh karakteristik sistem PV *on-grid* yaitu: bentuk gelombang V , I dan P konstan berupa garis lurus pada 1 modul PV 100 Wp, pada nilai konstan dari iradiasi matahari 1000 W/m^2 dan temperatur 25°C , dengan $V = 18\text{V}$, $I = 5,55\text{A}$, dan $P = 100\text{W}$. Pada 10 modul PV dengan nilai iradiasi matahari dan temperatur real time, diperoleh bentuk gelombang V , I dan P mengikuti pola iradiasi matahari, dengan $V_{maks} = 34,91\text{V}$, $I_{maks} = 26,92\text{A}$ dan $P_{maks} = 939,7\text{W}$ pada pukul 11.00-12.00 siang, saat puncak iradiasi matahari mencapai 954 W/m^2 . Juga diperoleh, daya maksimum PV 940 W pada pukul 11.00 – 12.00 siang dan daya rata-rata 291 W . Daya puncak grid 1.185 W , dengan daya rata-rata 588 W . Beban puncak pemakaian listrik 1.128 W pada jam 08.00 malam, dengan daya beban rata-rata 596 W . Kelebihan daya PV = 1.950 W .

Kata Kunci: daya listrik, *grid-tie inverter*, Matlab, *photovoltaic*

Abstract

Solar power plants are one of the environmentally friendly renewable energy generators because they utilize sunlight, which can be absorbed by *photovoltaic (PV)*. The purpose of this study is to create and analyze *on-grid photovoltaic* modeling and simulation using a *grid-tie inverter* based on MATLAB/Simulink, and then to analyze the quantity of PV electricity based on real time data of solar irradiation and temperature. Based on the modeling and simulation results, the characteristics of the *on-grid PV* system are obtained, namely: constant V , I and P waveforms in the form of straight lines on 1 100 Wp PV module, at a constant value of 1000 W/m^2 solar irradiation and a temperature of 25°C , with $V = 18\text{V}$, $I = 5.55\text{A}$, and $P = 100\text{W}$. On 10 PV modules with solar irradiation values and real time temperatures, the V , I and P waveforms were obtained following the solar irradiation pattern, with $V_{max} = 34.91\text{V}$, $I_{max} = 26.92\text{A}$ and $P_{max} = 939.7\text{W}$ at 11.00-12.00 noon, when the peak solar irradiation reaches 954 W/m^2 . It is also obtained that the maximum PV power is 940 W at 11.00 – 12.00 noon and the average power is 291 W . The peak power of the grid is 1.185 W , with an average power of 588 W . The peak load of electricity consumption is 1.128 W at 08.00 at night, with load power average 596 W . Overload PV = 1950 W .

Keywords: electric power, *grid-tie inverters*, MATLAB, *photovoltaic*

1. PENDAHULUAN

Meningkatnya jumlah penduduk menyebabkan besarnya permintaan masyarakat akan kebutuhan listrik. Menurut Sekretaris Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan, Ida Nuryatin, hingga September 2022 angka konsumsi listrik di Indonesia sebesar 1.169 kWh/kapita [1]. Angka tersebut memang tidak terlalu besar jika dibandingkan dengan negara-negara di ASEAN lainnya. Dilansir dari CNBC INDONESIA, sebesar 87,4% total produksi listrik di Indonesia pada tahun 2020 yang berasal dari bahan bakar fosil. Angka tersebut menurun dibandingkan pada tahun 2019, sebesar 88,73%, sedangkan untuk penggunaan energi baru terbarukan (EBT) hanya 10,9%, dimana sisanya merupakan energi yang berasal dari bahan bakar fosil[2]. Di tahun 2025 Peraturan Presiden menargetkan Rencana Umum Energi Nasional sebesar 23% untuk penggunaan energi terbarukan di Indonesia, hingga pada tahun 2050 mencapai 31,2%. Sedangkan pemanfaatan Energi Baru Terbarukan (EBT) mencapai 2,5%, dengan sumber tenaga terbesar berasal dari tenaga surya atau energi matahari [3]. Oleh karena itu, saat ini sedang dilakukan peralihan ke energi baru terbarukan (EBT), salah satunya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Penggunaan dan pemanfaatan PLTS merupakan salah satu pilihan yang tepat karena Indonesia berada di garis khatulistiwa, sehingga negara Indonesia mendapatkan sinar matahari yang berlimpah.

Pada penelitian di tahun 2022 oleh Agus Kurniawan berjudul **“Perencanaan Model Dan Simulasi Modul Surya Paralel Menggunakan Matlab”**, dimana penelitian ini bertujuan mengetahui karakteristik dua modul sel surya, yaitu tunggal dan paralel. Parameter yang digunakan yaitu, arus, tegangan dan daya

maksimum sehingga dapat dianalisa kinerja dari panel surya. Pada iradiasi konstan, diperoleh daya maksimum modul tunggal 156,49 Watt dengan efisiensi 15,649%, dan daya maksimum modul paralel sebesar 313,206 Watt dengan efisiensi 16,36% [4].

Pada penelitian oleh Usaman, Ahmad Rosyid Idris, Sofyan, dan Irfan Syamsudin tahun 2020 tentang **”Simulasi Photovoltaic Menggunakan Pendekatan Model Tiga Diode”** dijelaskan bahwa pemodelan PV bertujuan menyamakan model daya maksimal dengan datasheet yang ada dan diimplementasikan pada MATLAB, serta diperoleh kurva karakteristik *photovoltaic*, dimana hasil simulasi dengan rangkaian model satu dioda diperoleh kurva I-V sebesar 2,159%. Kemudian, hasilnya dibandingkan dengan model yang serupa menggunakan algoritma MRFO, SFO, COA, WOA, SA, dan GA., dengan hasil yang hampir sama, dimana konstanta a , R_s dan R_p sangat mempengaruhi kurva I-V [5].

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Syafrudin Masri, Jaya Kuncara Rosa Susila yang dipublikasikan pada tahun 2020 tentang **”Model Simulasi Implementasi Algoritma *Perturb & Observe* MPPT Pada Modul PV Menggunakan Matlab-Simulink”** pada penelitian ini menunjukkan prosedur dari model Simulink implementasi Algoritma *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) *”Perturb and Observe”* pada *photovoltaic* (PV) dengan Matlab/Simulink yang secara detail akan menampilkan rangkaian model PV, konverter *Buck DC-DC* dengan kelengkapan MPPT menggunakan metode algoritma P&O. Hasil simulasi menunjukkan respons MPPT yang valid dalam menentukan titik operasional daya untuk berbagai tingkatan iradiasi matahari dan temperatur sel *solar* [6].

Berdasarkan beberapa penelitian yang sudah dilakukan diatas, terdapat beberapa kekurangan diantaranya penulis tidak membahas secara detail mengenai simulasi serta pemodelan *photovoltaic*, khususnya *on-grid* yang terkoneksi dengan jaringan dan juga beban, modul yang digunakan hanya satu modul dengan kapasitas 150 Wp. Oleh karena itu, melalui studi ini dilakukan penelitian tentang pemodelan dan simulasi *on-grid photovoltaic* dengan *grid-tie inverter* menggunakan Matlab/simulink dengan tujuan menganalisa output dari panel surya, *inverter*, dan *grid*, yang meliputi tegangan, arus, maupun daya pada sistem yang ditinjau.

Dalam penelitian ini, digunakan batasan masalah sebagai berikut:

- 1) *Photovoltaic* yang sudah terpasang di Jalan Purimas 1 Nomor 13 RT 16/RW 08 Kelapa Dua Wetan, Ciracas, Jakarta Timur sebagai objek penelitian.
- 2) 10 modul *photovoltaic* (PV) masing-masing berkapasitas 100 Wp dengan total 1000 Wp, sebagai sumber energi.
- 3) Jaringan listrik 1 fasa tegangan 220 V.
- 4) Sistem *Solar Home System* (SHS) terhubung *on-grid* ke PLN tanpa menggunakan *energy storage* seperti baterai.
- 5) Menggunakan Matlab/Simulink untuk pemodelan dan simulasi.

2. KERANGKA TEORI

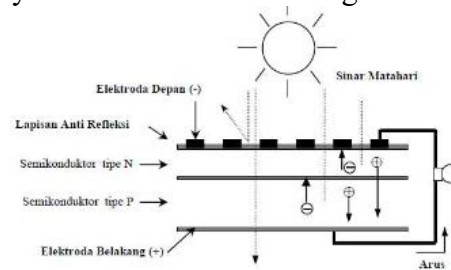
2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah jenis pembangkit yang menghasilkan listrik dengan menggunakan sinar matahari sebagai sumbernya dan mengubahnya menjadi energi listrik.

2.2 Prinsip Kerja PLTS

Sistem kerja PV dimulai ketika sinar

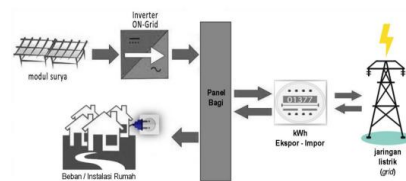
matahari yang terdiri dari foton mengenai permukaan solar sel, kemudian partikel tersebut diserap dan dipantulkan. Foton yang tersisa adalah partikel dengan tingkat energi yang melebihi *band gap*, sehingga sisa energinya akan dikonversi dalam bentuk panas pada *solar* sel, dan menyebabkan arus listrik mengalir.



Gambar 1 Lapisan Solar Sel [7]

2.3 Sistem On-Grid

Sistem *on-grid* merupakan pembangkit listrik dengan sistem kinerja yang terhubung dengan jaringan listrik PLN. Pada sistem *on-grid*, ketika hasil produksi listrik yang dihasilkan oleh PV lebih besar dari beban pemakaian, maka listrik yang berlebih tersebut dapat dijual (disalurkan) ke PLN.



Gambar 2 Sistem On-Grid [8]

2.4 Grid- Tie Inverter

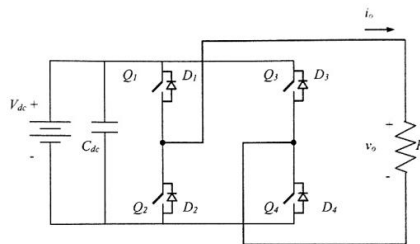
Grid-tie inverter berfungsi untuk mengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC) dari energi listrik yang dihasilkan oleh PV. Selain itu, *grid-tie inverter* juga menyinkronkan sinyal keluaran PV terhadap jaringan, khususnya frekuensi dan pergeseran fasa. Prinsip kerja dari *grid-tie inverter* adalah sebagai berikut.

- 1) Apabila beban sama besarnya dengan daya yang dihasilkan PLTS, maka seluruh kebutuhan energi akan disuplai

oleh PLTS. Pada kondisi ini, kWh meter dari PLN akan berhenti.

- 2) Jika beban melebihi daya yang dihasilkan PLTS, maka PLTS akan menyuplai beban sesuai dengan daya yang dihasilkannya, sedangkan kelebihan beban akan disuplai oleh PLN.
- 3) Saat beban kurang dari daya yang disuplai PLTS, maka beban tersebut tetap disuplai oleh PLTS, sedangkan kelebihan daya PLTS tersebut akan disalurkan ke PLN (dijual ke PLN).
- 4) Bila tidak ada beban, maka listrik yang dihasilkan dari PLTS akan langsung disalurkan ke jaringan PLN.

Gambar 3 menampilkan rangkaian *full bridge inverter*. Rangkaian tersebut digunakan pada pemodelan *photovoltaic* satu fasa, yang terdiri dari 4 saklar dengan sumber arus dc.



Gambar 3 Full Bridge Inverter [9]

3. METODE PENELITIAN

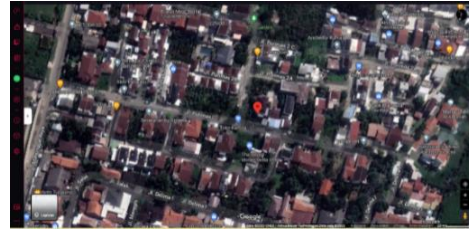
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini telah dilakukan dengan mengambil data pada lokasi di Jalan Purimas 1 No.13, RT/RW: 16/08, Kelapa Dua Wetan Ciracas, Jakarta Timur dengan letak geografisnya $6^{\circ}20'39.5''S$ dan $106^{\circ}52'47.8''E$, ditunjukkan pada Gambar 3.1. Pengambilan data dilakukan pada hari Sabtu tanggal 15 April 2023.

3.2 Tahapan Penelitian

Dalam penelitian ini, metode penelitian yang digunakan adalah kepustakaan (*Library Research*) dan penelitian kuantitatif, dimana telah

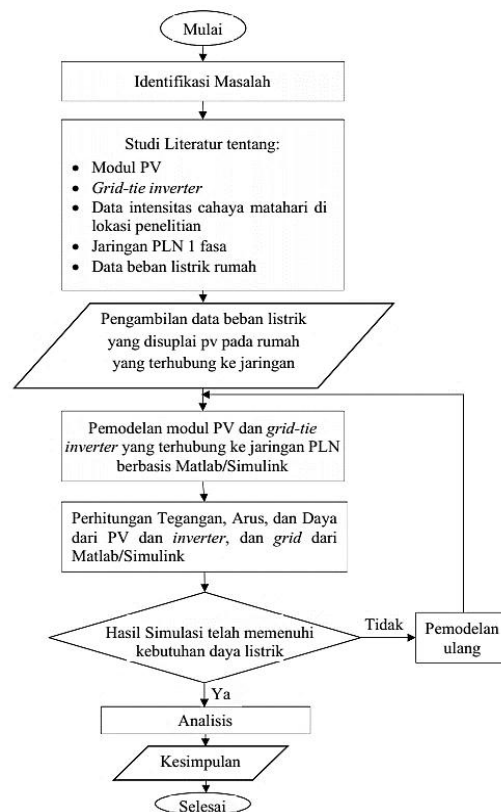
dilakukan beberapa tahap diantaranya sebagai berikut: indentifikasi masalah, studi literatur, pengumpulan data, analisis data, validasi dan verifikasi, serta kesimpulan.



Gambar 4 Lokasi Penelitian

3.3 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir adalah diagram yang menampilkan urutan dari langkah-langkah yang akan dilakukan dalam penelitian ini, bertujuan mempermudah pemahaman akan hal yang akan dilakukan dalam penelitian tersebut. Diagram alir penelitian diperlihatkan dalam Gambar 5.



Gambar 5 Diagram Alir Penelitian

3.4 Tahapan Pemodelan dan Simulasi

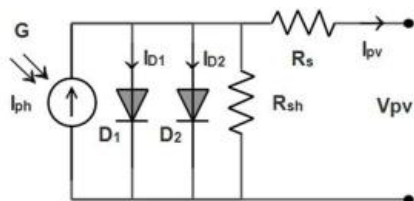
Tahapan simulasi dan pemodelan yang dilakukan sebagai berikut:

1. Membuat pemodelan dan simulasi pada 1 modul PV terhubung ke jaringan, pada nilai iradiasi matahari dan temperatur baik konstan maupun *real time*.
2. Membuat pemodelan dan simulasi pada 10 modul PV terhubung ke jaringan, pada nilai iradiasi matahari dan temperatur *real time*.
3. Melakukan simulasi pada 10 modul PV dengan *grid-tie inverter* terhubung ke jaringan dalam kondisi tanpa beban dan kondisi berbeban, pada nilai iradiasi matahari dan temperatur *real time*.
4. Selanjutnya, dilakukan analisis hasil pemodelan dan simulasi pada nomor 1, 2 dan 3 di atas.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Model Matematis *Photovoltaic* Pada Matlab

Rangkaian sel surya yang digunakan pada simulasi Matlab adalah model sel surya dua dioda, seperti pada Gambar 4.1.



Gambar 6 Model Sel Surya Dua Dioda [10]

Model rangkaian pada gambar 6 terdiri dari dua dioda yang diparalelkan dengan sumber arus, dioda pertama (I_{D1}) dan dioda kedua (I_{D2}). Kinerja model sel surya ini akan meningkat saat temperatur disekitar rendah dan tingkat iradiasinya tinggi. Persamaan (1) untuk sel surya dua dioda yaitu sebagai berikut:

$$I = I_{ph} - I_s \left(e^{\frac{(V + I R_s)}{(N_1 V_t)}} - 1 \right) - I_{s2} \left(e^{\frac{(V + I R_s)}{(N_2 V_t)}} - 1 \right) - \frac{(V + I R_s)}{R_p} \dots (1)$$

dimana:

I_{s1} : arus jenuh dari mekanisme difusi.

I_{s2} : arus jenuh karena rekombinasi pembawa di daerah ruang muatan.

N_1 : faktor kualitas mekanisme difusi arus.

N_2 : faktor kualitas adanya arus rekombinasi.

4.1.1 Data Beban

Tabel 1 memperlihatkan data beban yang disuplai oleh PLTS yang terpasang, dengan 9 jenis beban dan jumlah keseluruhan peralatan beban listrik 11 unit. Total daya listrik beban yang disuplai PLTS per hari yaitu 1.680 Watt, dan total energi listrik yang disuplai PLTS per hari adalah 3,6125 kWh.

Tabel 1 Data Beban Listrik

| No | Nama | Lama pemakaian beban listrik (Jam) | Total daya beban (W) | Energi Listrik (kWh) |
|--------------|--------------------|------------------------------------|----------------------|----------------------|
| 1 | 1 Unit TV | 2 | 100 | 0,2 |
| 2 | 1 Unit Kulkas | 4 | 180 | 0,72 |
| 3 | 1 Unit Kipas Angin | 3 | 60 | 0,18 |
| 4 | 1 Unit Pompa Air | 1 | 300 | 0,3 |
| 5 | 1 Buah Decoder TV | 2 | 20 | 0,04 |
| 6 | 1 Unit Mesin cuci | 1 | 450 | 0,45 |
| 7 | 1 Unit Setrika | 0,33 | 250 | 0,0825 |
| 8 | 3 Lampu LHE | 7 | 20 | 0,14 |
| 9 | 1 Rice Cooker | 5 | 300 | 1,5 |
| Total | | | 1680 | 3,6125 |

4.1.2 Data Iradiasi dan Temperatur

Data pada Tabel 2 diperoleh melalui satelit NASA yang diakses pada tanggal 2 April 2023 di website: *Power Data Access Viewer* menggunakan letak geografis

lokasi 6°20'39.5"S dan 106°52'47.8"E. Data ini dibutuhkan untuk mengetahui tingkat iradiasi matahari dan temperatur pada lokasi penelitian.

Tabel 2 *Clearness Index*, Iradiasi matahari, dan Temperatur

| Bulan | <i>Clearness Index</i> | Daily Irradiation (kWh/m ² /hari) | Temperatur (°C) |
|------------------|------------------------|--|-----------------|
| Januari | 0,37 | 7,23 | 24,02 |
| Februari | 0,41 | 7,33 | 24,1 |
| Maret | 0,47 | 7,08 | 24,58 |
| April | 0,52 | 6,62 | 24,74 |
| Mei | 0,51 | 5,82 | 25,24 |
| Juni | 0,48 | 5,52 | 24,77 |
| Juli | 0,55 | 5,84 | 24,26 |
| Agustus | 0,52 | 6,22 | 24,72 |
| September | 0,53 | 6,79 | 25,19 |
| Oktober | 0,48 | 6,94 | 25,63 |
| November | 0,41 | 7,14 | 24,86 |
| Desember | 0,43 | 7,14 | 24,67 |
| Rata-rata | 0,47 | 6,63 | 24,73 |

Tabel 3 Iradiasi Matahari dan Temperatur

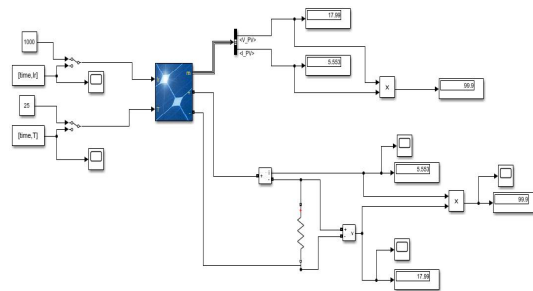
| Waktu | Iradiasi Matahari (W/m ²) | Temperatur (°C) |
|------------------|---------------------------------------|-----------------|
| 00.00-01.00 | 0 | 22,37 |
| 01.00-02.00 | 0 | 22,04 |
| 02.00-03.00 | 0 | 21,78 |
| 03.00-04.00 | 0 | 21,59 |
| 04.00-05.00 | 0 | 21,44 |
| 05.00-06.00 | 0 | 21,3 |
| 06.00-07.00 | 66,2 | 22,33 |
| 07.00-08.00 | 294,38 | 23,87 |
| 08.00-09.00 | 538,58 | 25,69 |
| 09.00-10.00 | 746,5 | 27,48 |
| 10.00-11.00 | 895,5 | 28,69 |
| 11.00-12.00 | 954,48 | 29,42 |
| 12.00-13.00 | 951,17 | 29,69 |
| 13.00-14.00 | 875,15 | 29,68 |
| 14.00-15.00 | 723,15 | 29,36 |
| 15.00-16.00 | 513,58 | 28,82 |
| 16.00-17.00 | 272,02 | 28,01 |
| 17.00-18.00 | 52,33 | 26,54 |
| 18.00-19.00 | 0 | 25,29 |
| 19.00-20.00 | 0 | 24,66 |
| 20.00-21.00 | 0 | 24,08 |
| 21.00-22.00 | 0 | 23,58 |
| 22.00-23.00 | 0 | 23,17 |
| 23.00-24.00 | 0 | 22,81 |
| Rata-rata | 286,79 | 25,15 |

Tabel 3 merupakan data iradiasi matahari dan temperatur dalam waktu 24 jam yang diambil pada tanggal 2 April 2023 melalui website *Power Data Access*

Viewer. Dari data di atas, dapat dilihat bahwa dari jam 06.00 hingga jam 18.00 terdapat iradiasi matahari, dan puncaknya terjadi pada pukul 11.00-12.00, dengan rata-rata iradiasi matahari per hari 286,79 W/m² dan rata-rata suhu 25,15°C.

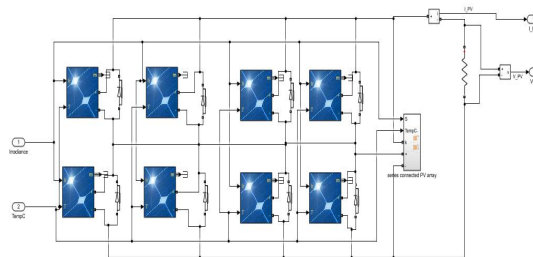
4.2 Hasil Pemodelan Menggunakan Matlab/Simulink

Gambar 7 memperlihatkan 1 modul PV yang terhubung dengan blok iradiasi dan blok temperatur dengan nilai konstan.



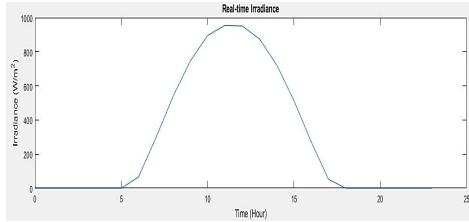
Gambar 7 Modul PV 100 Wp

Gambar 8 merupakan rangkaian untuk 10 modul PV dengan kapasitas masing-masing 100 Wp dan terhubung secara seri-paralel.



Gambar 8 Modul PV 100Wp terhubung seri-paralel

Gambar 9 menunjukkan kurva tingkat iradiasi dan temperatur, dengan puncak iradiasi matahari mencapai 954 W/m² terjadi pada pukul 11.00 - 12.00.

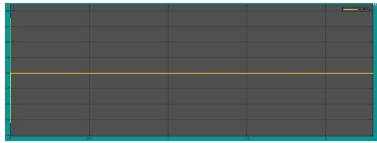


Gambar 9 Kurva Iradiasi Matahari

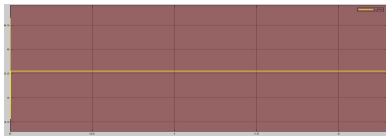
4.3 Hasil Simulasi Menggunakan Matlab/Simulink

A. Simulasi pada 1 Modul PV dengan Iradiasi dan Temperatur Konstan

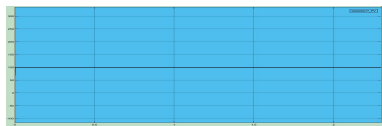
Gambar 10, 11, dan 12 merupakan bentuk gelombang V, I dan P dari 1 modul PV kapasitas 100 Wp, dengan nilai konstan iradiasi matahari 1000 W/m² dan temperatur 25°C, dan diperoleh V = 18V, I = 5,55A dan P = 100W.



Gambar 10 Bentuk Gelombang Tegangan pada 1 modul PV pada nilai iradiasi matahari konstan



Gambar 11 Bentuk Gelombang Arus dari 1 modul PV pada nilai iradiasi matahari konstan

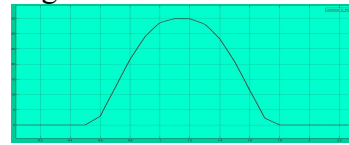


Gambar 12 Bentuk Gelombang Daya dari 1 modul PV pada nilai iradiasi matahari konstan

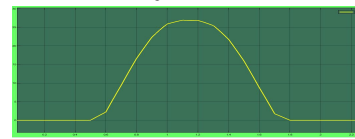
B. Simulasi pada 10 Modul PV dengan Iradiasi dan Temperatur Real Time

Gambar 13, 14, dan 15 merupakan bentuk gelombang tegangan, arus dan

daya keluaran pada 10 modul PV dengan iradiasi dan temperatur real time 24 jam. Hasil simulasi mengikuti perubahan tingkat iradiasi, dimana $V_{maks} = 34,91V$ terjadi di pukul 11.00-12.00, $I_{maks} = 26,92 A$ terjadi pada pukul 11.00-12.00 dan $P_{maks} = 939,7W$ terjadi pada pukul 11.00-12.00 siang.



Gambar 13 Bentuk Gelombang Tegangan dari 10 modul PV



Gambar 14 Bentuk Gelombang Arus dari 10 modul PV



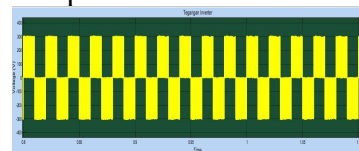
Gambar 15 Bentuk Gelombang Daya dari 10 modul PV

C. Skema Simulasi Tanpa Beban dan Berbeban

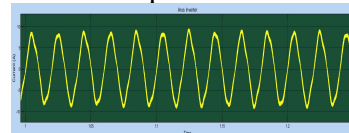
Berikut ini ditampilkan bentuk gelombang V, I dan P pada kondisi tanpa beban, dan hasilnya ditabulasikan pada tabel 4 dan tabel 5.

- **Bentuk Gelombang Tegangan, Arus dan Daya Inverter Tanpa Beban**

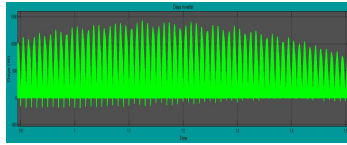
Pada gambar 16, 17, dan 18 terlihat bentuk gelombang V, I dan P pada inverter tanpa beban.



Gambar 16 Tegangan Keluaran Inverter Tanpa Beban



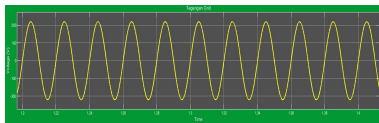
Gambar 17 Arus Keluaran Inverter Tanpa Beban



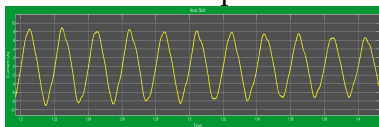
Gambar 18 Daya Keluaran Inverter Tanpa Beban

- **Gelombang Tegangan, Arus dan Daya pada *Grid* Tanpa Beban**

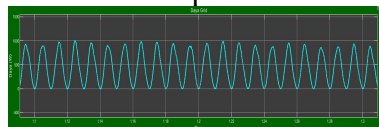
Pada gambar 19, 20, dan 21 terlihat bentuk gelombang V, I dan P pada *grid* tanpa beban.



Gambar 19 Bentuk Gelombang Tegangan dari Grid Tanpa Beban



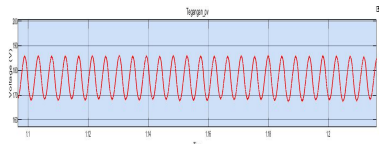
Gambar 20 Bentuk Gelombang Arus dari Grid Tanpa Beban



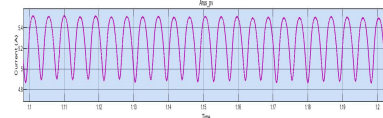
Gambar 21 Bentuk Gelombang Daya dari Grid Tanpa Beban

- **Gelombang Tegangan, Arus dan Daya pada 10 Modul PV dengan Beban**

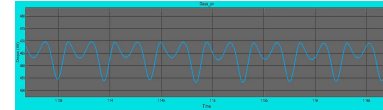
Gambar 22, 23, dan 24 merupakan bentuk gelombang V, I dan P yang dihasilkan dari PV yang terkoneksi ke beban.



Gambar 22 Bentuk Gelombang Tegangan PV Saat Berbeban



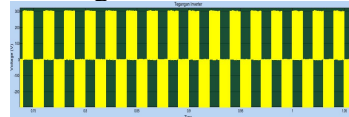
Gambar 23 Bentuk Gelombang Arus PV Saat Berbeban



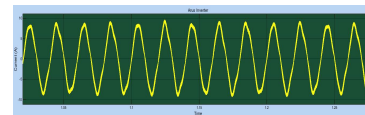
Gambar 24 Bentuk Gelombang Daya PV Saat Berbeban

- **Gelombang Tegangan, Arus dan Daya pada Inverter dengan Beban dan Iradiasi *Real Time***

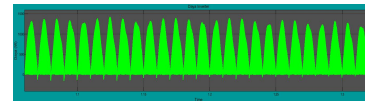
Gambar 25, 26, dan 27 merupakan bentuk gelombang V, I dan P inverter yang terhubung ke beban.



Gambar 25 Tegangan Inverter Saat Berbeban



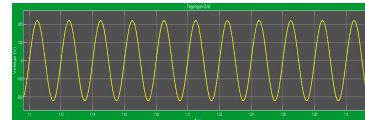
Gambar 26 Arus Inverter Saat Berbeban



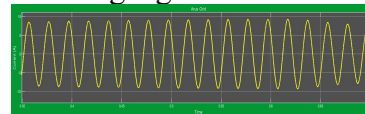
Gambar 27 Daya Inverter Saat Berbeban

- **Gelombang Tegangan, Arus dan Daya pada *Grid* dengan Beban.**

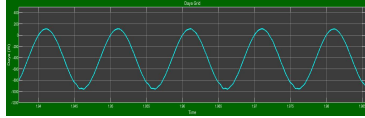
Gambar 28, 29, dan 30 menunjukkan bentuk gelombang V, I dan P dihasilkan *grid* dalam kondisi berbeban.



Gambar 28 Tegangan Grid Saat Berbeban



Gambar 29 Arus dari Jaringan Saat Berbeban



Gambar 30 Daya dari Jaringan Saat Berbeban

• **Analisis Hasil Simulasi Pada Karakteristik PV, Inverter dan Grid**

Berdasarkan hasil simulasi pada PV, inverter dan *grid*, maka diperoleh hasil sebagai berikut:

1. Sesuai hasil simulasi Matlab, diperoleh suhu puncak terjadi pada pukul 12.00-13.00 dengan 29,6°C. Sedangkan suhu terendah terjadi di pukul 05.00-06.00 mencapai 23,1°C.
2. Hasil simulasi pada 1 panel PV kapasitas 100 Wp, diperoleh bentuk gelombang V, I dan P konstan berbentuk garis lurus, pada nilai konstan iradiasi matahari 1000 W/m² dan temperatur 25 °C, dimana nilai konstan pada V = 18V, I = 5,55A, dan P = 100W.
3. Berdasarkan hasil simulasi pada kondisi tanpa beban dan pada kondisi berbeban, dimana hasilnya ditabulasikan dalam Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 4 Hasil Simulasi PV *on-grid* dengan *grid-tie inverter*

| Skema Simulasi | Tanpa Beban | | Dengan Beban | |
|----------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | V _{max} (V) | I _{max} (A) | V _{max} (V) | I _{max} (A) |
| 10 modul PV | 34,91 | 26,92 | 50 | 81 |
| Inverter | 300 | 80 | 50 | 80 |
| Grid | 220 | 80 | 220 | 88 |

Tabel 4 memperlihatkan tabulasi hasil simulasi PV *on-grid* dengan *grid-tie inverter* berupa parameter tegangan dan arus maksimum keluaran dari 10 modul PV, inverter dan *grid* pada kondisi tanpa beban dan dengan beban.

Tabel 5 Gelombang Keluaran Sistem PV *on-grid* dengan *grid-tie inverter*

| Skema Simulasi | Bentuk Gelombang Keluaran | | |
|----------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | Tegangan, V | Arus, I | Daya, P |
| 10 modul PV | bentuk gelombang iradiasi matahari | bentuk gelombang iradiasi matahari | bentuk gelombang iradiasi matahari |
| Inverter | kotak (<i>square wave</i>) | sinusoidal | setengah gelombang sinusoidal |
| Grid | Sinusoidal murni | sinusoidal | sinusoidal |

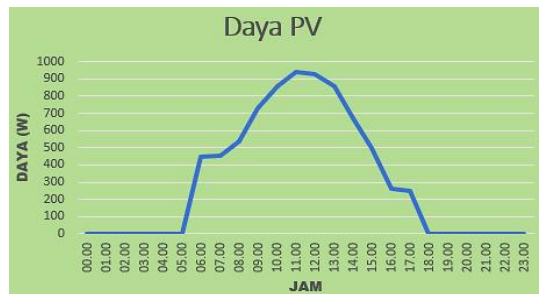
Tabel 5 memperlihatkan tabulasi hasil simulasi PV *on-grid* dengan *grid-tie inverter* berupa bentuk gelombang keluaran dari 10 modul PV, inverter dan *grid*.

4.4 Analisis Hasil Perhitungan dengan Matlab/Simulink

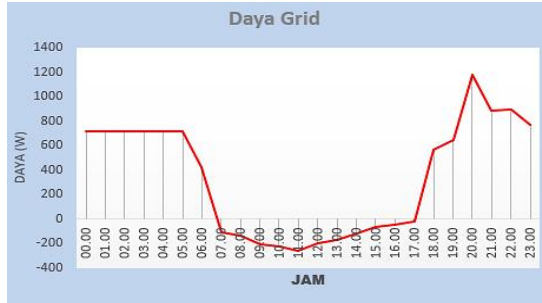
Berikut ini diberikan kurva hasil perhitungan daya listrik yang dihasilkan oleh photovoltaik *on-grid* guna menyuplai beban listrik berdasarkan keluaran dari panel surya, inverter, dan *grid* berdasarkan hasil simulasi MATLAB/Simulink.



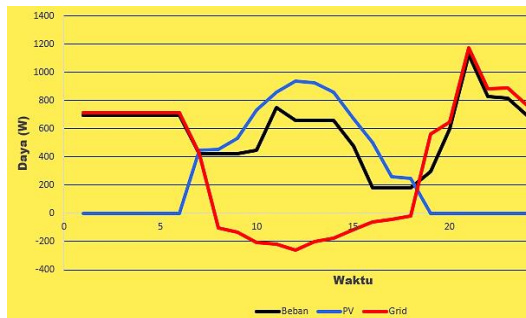
Gambar 30 Kurva Beban Harian 24 jam



Gambar 31 Daya PV Harian



Gambar 32 Kurva Daya Grid Harian



Gambar 33 Kurva Gabungan Beban, PV, dan Grid



Gambar 34 Kurva Kelebihan Daya PV

Berdasarkan Gambar 31, 32, 33, dan 34 diatas, maka diperoleh daya listrik yang dihasilkan dari photovoltaik on-grid guna menyuplai beban listrik berdasarkan keluaran dari panel surya, inverter, dan grid sebagai berikut:

- 1) Sesuai Gambar 31, daya maksimum yang dihasilkan PV terjadi pada pukul 11.00 – 12.00 sebesar 940 W dan daya rata-rata 291 W.
- 2) Sesuai Gambar 32, daya puncak yang dihasilkan grid sebesar 1.185 W,

dengan daya rata-ratanya 588 W.

- 3) Sesuai Gambar 30, puncak beban pemakaian listrik terjadi pada pukul 20.00 sebesar 1.128 W, dengan daya beban rata-rata 596 W.
- 4) Sesuai Gambar 34, kelebihan daya yang dihasilkan PV sebesar 1.950 W.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pemodelan dan simulasi *photovoltaic on-grid* dengan *grid-tie inverter* menggunakan Matlab/Simulink, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Diperoleh karakteristik sistem *photovoltaic on-grid* dengan *grid-tie inverter* yang terhubung ke jaringan satu fasa yaitu:
 - a. Pada 1 modul PV 100 W_p, diperoleh bentuk gelombang V, I dan P konstan berbentuk garis lurus pada nilai konstan iradiasi matahari 1000 W/m² dan temperatur 25°C, dengan hasil V = 18V, I = 5,55A, dan P = 100W.
 - b. Pada 10 modul PV dengan nilai iradiasi matahari dan temperatur *real time*, diperoleh bentuk gelombang keluaran V, I dan P mengikuti pola iradiasi matahari dalam satu hari, dimana V_{maks} = 34,91V, I_{maks} = 26,92A dan P_{maks} = 939,7W, terjadi pada pukul 11.00-12.00, saat puncak iradiasi matahari mencapai 954 W/m².
2. Daya listrik yang dihasilkan *photovoltaic on-grid* guna menyuplai beban listrik yaitu:
 - a. Daya maksimum yang dihasilkan PV pada pukul 11.00–12.00, sebesar 940 W dan daya rata-rata 291 W.
 - b. Daya puncak yang tersedia dari *grid* sebesar 1.185 W, dengan daya rata-rata 588 W.

- c. Puncak beban pemakaian listrik pada jam 20.00 sebesar 1.128 W, dengan daya beban rata-rata 596 W.
- d. Kelebihan daya yang dihasilkan PV sebesar 1.950 W.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil pemodelan dan simulasi yang dilakukan, penulis mengajukan saran untuk penelitian selanjutnya sebagai berikut:

1. Menganalisa MPPT dengan metode algoritma yang berbeda dengan metode P&O seperti menggunakan *Particle Swarm Optimization* (PSO), *Genetic Algorithm* (GA), dan lain-lain.
2. Pemasangan kWh *exim* pada pemodelan.
3. Melakukan simulasi dengan data *irradiasi partial shading*.
4. Bisa menambahkan baterai pada sistem pemodelan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2022). *Kementerian ESDM Libatkan Stakeholder Tingkatkan Konsumsi Listrik Per Kapita*. (NOMOR: 486.Pers/04/SJI/2022). Diakses dari <https://www.esdm.go.id/en/media-center/news-archives/kementerian-esdm-libatkan-stakeholder-tingkatkan-konsumsi-listrik-per-kapita> diakses pada 3 Maret 2023.
- [2] Umah, A. (2020). *PLN Masih Ketergantungan Batu Bara, Ini Buktinya*. *CNBC Indonesia*. Diakses dari <https://www.cnbcindonesia.com/news/20201125115003-4-204493/pln-masih-ketergantungan-batu-bara-ini-buktinya> diakses pada 3 Maret 2023.
- [3] Arsita, S, A., Saputro, G, E., & Susanto. (2021). *Perkembangan Kebijakan Energi Nasional dan Energi Baru Terbarukan Indonesia*. *Jurnal Syntax Transform.*, vol. 2, no. 12, pp. 1779–1788, 2021, doi: 10.46799/jst.v2i12.473. Diakses dari <http://jurnal.syntaxtransformation.co.id/index.php/jst/article/download/473/640>
- [4] Kurniawan, A. (2022). *Perancangan Model dan Simulasi Modul Sel Surya Paralel Menggunakan MATLAB*, vol. 1, no. 3. Diakses dari <https://ejournal.politeknipratama.ac.id/index.php/jtmei/article/download/1249/1217>
- [5] Usman., Idris, A, R., Sofyan., & Syamsuddin, I. (2020). *Pemodelan dan Simulasi Photovoltaic Menggunakan Pendekatan Model Tiga Diode*. *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi.*, vol. 9, no. 4, pp. 423–429, doi: 10.22146/jnteti.v9i4.688. Diakses dari <http://repository.poliupg.ac.id/429/1/Paper%20Photovoltaic.pdf>
- [6] Masri, S., Susila, J, K, R. (2020). *Model Simulasi Implementasi Algoritma Perturb & Observe MPPT Pada Modul PV Menggunakan Matlab-Simulink*. *Journal Of Science Technology and Entrepreneurship* vol: 2, no:1. Diakses dari <https://ejournal.umbandung.ac.id/index.php/jste/article/download/25/63>
- [7] Myori, D, E., Mukhaiyar, R., & Fitri, R. (2019). *Sistem Tracking Cahaya Matahari pada Photovoltaic*. *INVOTEK (Jurnal Inovasi Vokasional dan Teknologi.) Volume.*, vol. 19, no. 1, pp. 9–16, doi: 10.24036/invotek.v19i1.548. Diakses dari

- <http://invotek.ppj.unp.ac.id/index.php/invotek/article/download/548/90>
- [8] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2020). *Panduan Pengelolaan Lingkungan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)*. Jakarta: Direktur Jendral Energi Baru Terbarukan dan Konversi Energi.vol. 1, p. 84.
- [9] Ashari, M. (2017). *Desain Konverter Elektronika Daya*. Penerbit Inform.
- [10] Habibi, M, N., Prakoso, D, N., Windarko, N, A., & Tjahjono, A. (2020). *Perbaikan MPPT Incremental Conductance menggunakan ANN pada Berbayang Sebagian dengan Hubungan Paralel*. ELKOMIKA Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika. vol. 8, no. 3, p. 546, 2020, doi: 10.26760/elkomika.v8i3.546. Diakses dari <https://ejurnal.itenas.ac.id/index.php/elkomika/article/viewFile/3725/2372>