

ANALISIS ENERGI LISTRIK PLTS ON-GRID DENGAN BOOST CONVERTER DAN INVERTER BERBASIS MATLAB/SIMULINK

Bestan Waruwu¹, Eva Magdalena Silalahi^{2*}, Bambang Widodo³

^{1,2,3}Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia (UKI); Jl. Mayjen Soetoyo No.2 Cawang, Jakarta Timur, Jakarta, Indonesia

Received: 02-01-2025

Accepted: xx-xx-xx

Keywords:

boost converter;
electrical energy;
on-grid;
modeling & simulation;
PLTS.

Correspondent Email:

eva.silalahi@uki.ac.id

Abstrak. Penelitian ini membahas analisis energi listrik pada pemodelan & simulasi MATLAB/Simulink pada PLTS *on-grid* menggunakan *boost converter* dan inverter untuk mensuplai beban listrik rumah tangga 220V satu fasa AC, berlokasi di Samarinda, Kalimantan Timur. Pemodelan & simulasi berdasarkan konfigurasi PLTS *on-grid* dengan *boost converter* dan inverter sesuai kebutuhan daya beban listrik rumah satu fasa. PLTS didesain memiliki jam operasional total 288,597653 Ah dan memerlukan arus 65,59 A. Panel surya yang digunakan, Canadian Solar Modul CS60-300P, dengan 5 modul seri, 8 modul paralel, total 40 modul. Total daya listrik beban harian 4.718,49 W, dan total konsumsi energi listrik harian 46,397 kWh. Hasil simulasi, pada sisi keluaran panel PV, diperoleh V_{rms} 119,7 V, I_{rms} 109,6 A, daya aktif 4.944 W. Pada sisi keluaran inverter, diperoleh V_{rms} 128,9 V, I_{rms} 37,61 A, daya aktif 315,1 W, daya reaktif 873,6 VAR, $pf = 0,3445$, $f = 49,99$ Hz. Pada sisi keluaran beban grid, diperoleh V_{rms} 220,0 V, I_{rms} 37,6 A, daya aktif 4.555 W, daya reaktif 4.388 VAR, $pf = 0,7201$ dan $f = 50$ Hz. Juga diperoleh, rugi-rugi daya 389 W, dan $\eta = 92,13\%$.

Abstract. This research discusses electrical energy analysis in MATLAB/Simulink modeling & simulation of on-grid PLTS using boost converters and inverters to supply 220V single-phase AC household electricity loads, located in Samarinda, East Kalimantan. Modeling & simulation on on-grid PLTS configuration with boost converter and inverter according to the power requirements of the single-phase home electrical load. The PLTS is designed to have a total operational hour of 288.597653 Ah and requires a current of 65.59 A. The solar panels used are Canadian Solar Module CS60-300P, with 5 series modules, 8 parallel modules, a total of 40 modules. Total daily load electrical power 4,718.49 W, and total daily electrical energy consumption of 46,397 kWh. Simulation results, on the PV panel output side, obtained V_{rms} 119.7 V, I_{rms} 109.6 A, active power 4,944 W. On the inverter output side, obtained V_{rms} 128.9 V, I_{rms} 37.61 A, active power 315.1 W, reactive power 873.6 VAR, $pf = 0.3445$, $f = 49.99$ Hz. On the grid load output side, a V_{rms} of 220.0 V, I_{rms} 37.6 A, active power 4,555 W, reactive power 4,388 VAR, $pf = 0.7201$, $f = 50$ Hz. Also obtained, power losses of 389 W, and $\eta = 92.13\%$.

1. PENDAHULUAN

Penggunaan bahan fosil seperti batu bara maupun minyak bumi dalam pembangunan

energi listrik masih sangat dominan. Data Badan Pusat Statistik (BPS) mengungkapkan bahwa penyediaan energi utama sebagian besar berasal

dari batu bara. Batu bara ini umumnya dimanfaatkan dengan penggunaan mesin uap pada PLTU, dengan 56,4% dari total kapasitas pembangkit listrik 64,5 GW pada 2018. Dampak penggunaan batu bara untuk PLTU, dapat menyebabkan dampak lingkungan dan kesehatan, karena emisi gas rumah kaca (GHG) yang memicu perubahan iklim serta polusi udara yang mengandung sulfur dioksida.[1]

Ada banyak penelitian yang membahas tentang PLTS ini. Salah satunya yang berjudul “Desain Dan Implementasi Sistem PLTS *Off-Grid* Skema Hibrida Sebagai Alternatif Suplai Daya Listrik Beban Satu Fasa. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem PLTS *off-grid* skema hibrida suplai dari PLN ke PLTS ini dapat digunakan sebagai alternatif suplai daya listrik pada malam hari. Metode yang dilakukan adalah dengan algoritma skema peralihan daya dari PLN ke PLTS dan sebaliknya secara real time. Hasilnya, sistem skema hibrida mampu melakukan peralihan daya pukul 06.00-17.00 suplai daya listrik dari PLN, ketika pukul 17.00-05.00 suplai daya listrik bersumber dari PLTS (dengan energi yang tersimpan dalam baterai) dan sistem dapat mendeteksi besarnya tegangan pada baterai baik jika tegangan $> 11V$.[2]

Penelitian lainnya, tentang “Analisis Efisiensi Inverter pada *Grid-Connected* 50 kWp Unpam Viktor”, yang menunjukkan efisiensi maksimal 98,4%, sedikit di bawah spesifikasi pabrik (98,7%), dengan rata-rata efisiensi 96,9%. Peningkatan arus input dan output cenderung menurunkan efisiensi, dan pengukuran arus serta tegangan sesuai dengan karakteristik umum panel surya.[3]

Kajian yang berjudul “Pemodelan dan Simulasi *On-Grid Photovoltaic* Dengan *Grid-Tied Inverter* Menggunakan Matlab/Simulink”, dengan tujuan penelitian yaitu membuat dan menganalisis pemodelan dan simulasi *on-grid photovoltaic* menggunakan *grid-tie inverter* berbasis Matlab/Simulink. Hasil pemodelan dan simulasi, pada 10 modul PV dengan nilai iradiasi matahari dan temperatur *real time*, diperoleh bentuk gelombang V, I dan P mengikuti pola iradiasi matahari, dengan $V_{maks} = 34,91V$, $I_{maks} = 26,92A$ dan $P_{maks} = 939,7W$ 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. Juga terjadi kelebihan daya PV = 1.950 W.[4]

Kemudian penelitian berikutnya tentang “*Studi Performance PLTS Rooftop 3kwp Frameless with On-Grid System* Di Lingkungan Perumahan Kori Nuansa Jimbaran”, menunjukkan bahwa panel surya yang dipasang di rumah tersebut bekerja dengan baik dan efisien. Meskipun sudut kemiringan panel belum optimal, panel surya ini tetap mampu memproduksi jumlah energi yang cukup untuk penggunaan rumah tangga.[5]

Penelitian “Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Pada Laboratorium Teknik UMSU Menggunakan Simulasi PVSyst”, dengan tujuan merancang sistem PLTS untuk laboratorium teknik UMSU. Simulasi PVSyst menunjukkan intensitas matahari di lokasi adalah $4.5 kWh/m^2/hari$, sementara kebutuhan listrik laboratorium mencapai 36 kWh/hari. Berdasarkan data ini, diperlukan PLTS berkapasitas 13.44 kWp. Simulasi HelioScope menunjukkan atap laboratorium mampu menampung PLTS hingga 99 kWp. Penelitian ini memberikan rekomendasi teknis terkait desain dan kapasitas PLTS yang sesuai untuk laboratorium.[6]

Penelitian tentang “Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sistem *On-Grid* Berbasis Homer Untuk Memenuhi Energi Listrik Di Sekolah Menengah Pertama Negeri (SMPN) 1 Teriak, Bengkayang Kalimantan Barat”, yang membahas PLTS yang dirancang pada gedung SMPN 1 Teriak, Bengkayang Kalimantan Barat dengan daya 6600 W, merupakan PLTS *on-grid* dengan tujuan untuk menurunkan tagihan biaya listrik menggunakan aplikasi Homer. Berdasarkan analisa terhadap perancangan, maka diperoleh kapasitas PLTS sistem *on-grid* 0,250 kW/modul dengan jumlah modul PV 27 unit dan 3 unit inverter. Kebutuhan daya listrik per hari 14,5 kWh. PLTS sistem *on-grid* memproduksi energi listrik sebesar 9.969 kWh per tahun (65,5%), sementara energi listrik yang diproduksi *Grid* mencapai 5.254 kWh/hari (34,5%), dan total produksi energi listrik 15.223 kWh per tahun (100%). Juga diperoleh, nilai NPC sistem PLTS+*Grid* dan nilai LCOE sistem PLTS+*Grid* lebih rendah dari nilai LCOE sistem *Grid*. Dan lamanya waktu pengembalian

modal, BEP sistem PLTS+Grid adalah 5,36 tahun.[7]

Kajian yang berjudul “Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sistem *On-Grid* Untuk Memenuhi Kebutuhan Listrik *Base Transceiver Station* (BTS) di Desa Sabi Samukop Kepulauan Mentawai”, membahas tentang sistem PLTS yang digunakan dalam penelitian ini adalah sistem *hybrid on-grid*. Hasil analisis simulasi HOMER yang telah dilakukan, diperoleh energi listrik yang dibutuhkan BTS adalah sebesar 3,96 kWh/hari dan kapasitas PLTS sebesar 1,3 kW dengan produksi energi listrik sebesar 5,06 kWh/hari. Berdasarkan skenario sistem PLTS *hybrid on-grid* tanpa baterai dengan nilai *LCOE* Rp1.144,39/kWh dan *BEP* tercapai setelah 3,3 tahun proyek beroperasi. Karena hal tersebut, PLTS *hybrid on-grid* tanpa baterai, dinilai layak digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik BTS Desa Saibi Samukop di Kepulauan Mentawai.[8]

Hasil penelitian berjudul “*Evaluation of solar power’s potential to fulfill Tidung Island’s electricity demands*”, yang membahas kebutuhan energi listrik di Pulau Tidung Kepulauan Seribu menggunakan PVSYST. Penelitian ini menggunakan modul polikristalin 250 Wp dengan sudut kemiringan variabel 10° dan baterai VRLA 12V/100Ah untuk simulasi dan perhitungan ekonomis. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kuantitas energi PLTS yang dihasilkan setiap hari, rata-rata jumlah energi listrik yang dihasilkan PLTS, dan konsumsi listrik Pulau Tidung secara keseluruhan. Hasil penelitian ini, PLTS menghasilkan energi listrik 31,490 MWh/tahun, Pulau Tidung membutuhkan listrik setiap harinya sebesar 86.275 kWh, dan harga listrik untuk PLTS *off-grid* Rp1.471/kWh. Dan PLTS menghasilkan tambahan listrik sebesar 87.965 kWh setiap tahunnya.[9]

Penelitian yang berjudul “*Analysis of the hybrid power plants of PLTD and PLTS on Tidung Island, Seribu Islands, DKI Jakarta using homer*”, penelitian ini bertujuan untuk menguji kelayakan teknis dan ekonomis PLTH dengan menggunakan aplikasi HOMER. Berdasarkan hasil simulasi diketahui bahwa PLTH (PLTS, PLTD, grid PLN) secara teknis memungkinkan. PLTH mampu menghasilkan listrik sebesar 261.967 kWh per tahun, sedangkan kebutuhan listrik di Pulau Tidung

sebesar 43.800 kWh/per tahun. Dari segi ekonomi, rencana NPC PLTH di Pulau Tidung lebih rendah dibandingkan PLTD+grid PLN sebelum dihibridisasi ke PLTS. Sedangkan *LCOE* PLTH yang direncanakan di Pulau Tidung lebih rendah dibandingkan PLTD+grid PLN di Pulau Tidung. Harganya Rp1.671,72/kWh untuk PLTH dan Rp13.193,80/kWh untuk PLTD+grid PLN.[10]

Penelitian lainnya, tentang “Analisis Ketersediaan Sistem Pembangkit Berbasis Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTB) Dan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)”, menggunakan simulasi HOMER untuk menganalisis potensi penggunaan energi angin serta matahari menjadi alternatif pembangkit energi listrik di Pekanbaru. Hasil simulasi menunjukkan bahwa energi surya menghasilkan daya puncak sebesar 3,86 kW pada pukul 12.00, sementara energi angin menghasilkan daya puncak 3,79 kW pada pukul 16.00. Penelitian juga merancang sistem PLTB dan PLTS yang paling optimal dari segi biaya dan efisiensi energi.[11]

Dalam beberapa jurnal yang disebutkan sebelumnya, banyak membahas kuantitas energi yang dihasilkan PLTS dan kecukupan dalam pasokan kebutuhan beban listrik dan juga aspek ekonomis. Selain itu, ada penelitian yang telah membahas masalah *grid-tie inverter* dalam PLTS *on-grid*. Oleh karena itu, penelitian ini akan menganalisis kuantitas energi listrik yang dihasilkan oleh PLTS *on-grid* dengan *boost converter* dan *inverter* pada beban listrik rumah tangga satu fasa, dan juga menganalisis parameter listrik ditinjau dari sisi keluaran PV, inverter dan sisi beban ke grid.

Berdasarkan uraian diatas, maka tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a) merancang pemodelan dan melakukan simulasi berdasarkan konfigurasi sistem PLTS *on-grid* dengan *boost converter* dan *inverter* dan kebutuhan daya beban listrik ac rumah satu fasa berbasis Matlab/Simulink.
- b) memperoleh data besaran parameter listrik dari hasil pemodelan dan simulasi yaitu: daya aktif P, daya reaktif Q, tegangan, arus, frekuensi, dan faktor daya, yang diukur pada sisi keluaran PV, inverter dan grid.
- c) menentukan rugi-rugi daya dan nilai efisiensi sistem PLTS *on-grid* tersebut.

Dengan terlaksananya penelitian ini yang berjalan baik, sehingga mampu bermanfaat

terutama dalam meningkatkan kinerja PLTS secara optimal yang terhubung ke grid melalui *boost converter* dan *inverter*. Dan juga sebagai bahan pertimbangan bagi siapapun yang tertarik dengan topik pembahasan yang serupa.

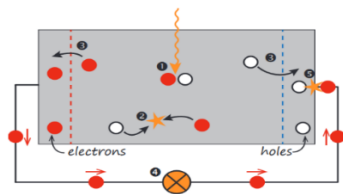
2. TINJAUAN PUSTAKA

Pembangkit energi listrik bertenaga surya, merupakan sumber energi baru terbarukan yang penggunaannya sudah sangat meluas. Berdasarkan data EBTKE, disebutkan bahwa pemanfaatan energi surya saat ini sekitar 150 MW, dan jumlah tersebut baru berkisar antara 0,08% dari perkiraan potensi energi surya di Indonesia, yakni sekitar 200.000 MW.[12]

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

PLTS memanfaatkan energi sinar matahari untuk kemudian dikonversi sehingga menghasilkan energi listrik. Prinsip dasar PLTS didasarkan pada efek fotovoltaiik, yang melibatkan pembangkitan beda potensial pada persimpangan dua bahan yang berbeda sebagai akibat terhadap radiasi elektromagnetik.

Panel surya dibentuk dari sejumlah sel fotovoltaiik berbahan semikonduktor, seperti silikon. Pada saat sinar matahari mengenai sel fotovoltaiik, maka foton-foton dalam cahaya tersebut menyerap energi elektron di dalam sel fotovoltaiik, diilustrasikan oleh gambar 2.1.



Gambar 2.1. Proses pemisahan elektron hole pada panel surya.[13]

Untuk menghitung daya yang masuk dan keluar panel surya, kita dapat menggunakan formula:

$$P_{in} = I_{rad} \times A \quad (1)$$

dengan,

P_{in} = total daya pada panel (W)

I_{rad} = intensitas cahaya matahari (W/m^2)

A = luasan penampang panel (m^2)

$$P_{out} = V_{PV} \times I_{PV} \quad (2)$$

dengan,

P_{out} = daya keluaran solar panel (W)

V_{PV} = tegangan solar panel (V)

I_{PV} = arus solar panel (A)

Sehingga, berdasarkan kedua formula ini, diperoleh efisiensi panel surya.

$$\eta_{panel\ surya} = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

maka:

$$\eta_{panel\ surya} = \frac{V_{PV} \times I_{PV}}{I_{rad} \times A} \times 100\% \quad (3)$$

dengan,

$\eta_{panel\ surya}$ = efisiensi panel surya

P_{in} = daya masukan panel surya (W)

P_{out} = daya keluaran panel surya (W)

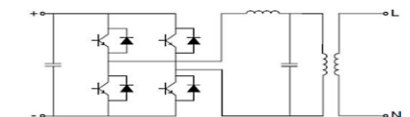
V_{pv} = tegangan panel surya (V)

I_{pv} = arus panel surya (A)

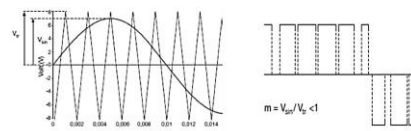
A = luas penampang panel surya (m^2)

2.2 Inverter

Pada sistem PLTS, penggunaan inverter satu fasa ditunjukkan oleh gambar 2.2, yang biasanya digunakan untuk sistem pengkondisian tenaga listrik (PLTS). Inverter melakukan dua tugas: merubah jenis arus searah (*direct current*, DC) yang diproduksi panel surya sehingga menjadi jenis arus bolak balik (*alternating current*, AC) dan mengontrol kualitas daya yang disalurkan menuju beban atau ke jaringan listrik.[14]



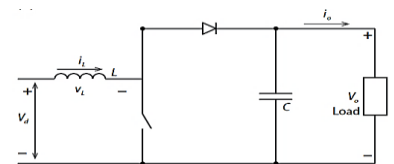
Gambar 2.2. Diagram Inverter 1 Fasa.[14]



Gambar 2.3. Prinsip kerja PWM.[14]

2.3 Boost converter

Boost converter dengan diagram seperti pada gambar 2.4 digunakan untuk menaikkan tegangan output.



Gambar 2.4. Diagram *boost converter*. [13]

Dengan menerapkan keseimbangan volt-detik induktor pada induktor seperti yang dijelaskan, diperoleh hubungan antara tegangan input dan output.

$$V_d t_{on} + (V_d - V_o) t_{off} = 0 \quad (4)$$

Berdasarkan gambar 4, berlaku hubungan berikut secara kontinu.

$$\frac{V_o}{V_d} = \frac{1}{1-D} \quad (5)$$

2.4 Iradiasi Matahari dalam ESH(H)

Energi yang diperoleh oleh modul PV tergantung pada beberapa faktor, seperti kondisi cuaca lokal, perubahan musiman, dan instalasi modul. Sebagaimana Indonesia yang beriklim tropis, maka potensi energi matahari di Indonesia tergolong tinggi.[15]

ESH (*Equivalent Sun Hours*) merupakan hitungan rata-rata iradiasi matahari/hari dalam satuan jam berdasarkan wilayah geografisnya, dihitung berdasarkan estimasi potensi energi yang dihasilkan oleh sistem fotovoltaik (PV) dalam kondisi tertentu.

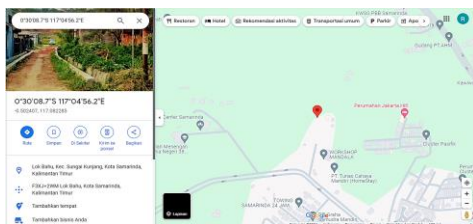
$$1 \text{ ESH} = 1.000 \text{ (W/m}^2\text{)} \quad (6)$$

3. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini, menggunakan penelitian *Library research* atau kepustakaan dan penelitian kuantitatif.

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Objek dan lokasi penelitian yang digunakan sebagai referensi beban dan iradiasi matahari, berlokasi di Lok Bahu, Kec. Sungai Kunjang, Kota Samarinda, Kalimantan Timur dengan letak geografisnya yaitu 0°30'08.7"S 117°04'56.2"E, ditunjukkan pada gambar 3.1 menggunakan *Google Map* yang dilakukan 25 Juni 2024.



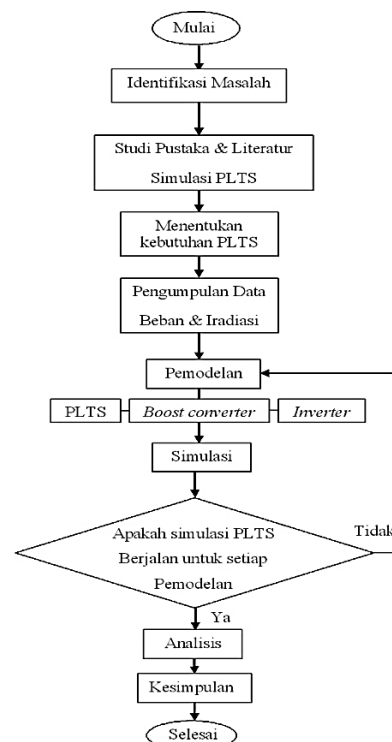
Gambar 3.1. Lokasi Penelitian (sumber: MAPS).

Pada lokasi tersebut diperoleh data iradiasi dan temperature menggunakan data 24 jam, yang diambil pada hari Rabu, 14 Februari 2024, bersumber dari website NASA: *Power larc nasa*.

3.2 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir menunjukkan urutan langkah-langkah yang akan dilakukan dalam penelitian. tujuannya untuk membuat penelitian lebih

mudah dipahami. Gambar 3.2 berikut menunjukkan diagram alir penelitian ini.



Gambar 3.2. Diagram Alir Penelitian.

3.3 Tahapan Simulasi dan Pemodelan.

Simulasi dan pemodelan yang akan dilakukan menggunakan *software* Matlab/Simulink, terdiri dari beberapa tahapan sebagai berikut:

- 1) Membuat pemodelan dari rangkaian *Boost converter*.
- 2) Membuat pemodelan dari rangkaian *photovoltaic* data iradiasi dan temperatur 24 jam, berdasarkan lokasi penelitian.
- 3) Membuat pemodelan dari rangkaian *Inverter* terhubung dengan jaringan (PLN).
- 4) Melakukan simulasi pada pemodelan yang telah digabungkan mulai dari panel surya, *boost converter*, *inverter-Grid*.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini akan dibahas dan disimulasikan rancangan sistem PLTS untuk beban rumahan sesuai lokasi yang sudah ditetapkan. Bahasan utamanya adalah untuk menentukan sistem yang sesuai untuk beban yang diukur. Sistem akan menggunakan *Boost converter*, untuk menaikkan tegangan PV sebelum memasuki *inverter*, untuk dipasok ke beban. Pada akhirnya, simulasi ini bertujuan sebagai sumber analisis dalam perancangan/persiapan pembangunan

sistem PLTS, terutama untuk memenuhi kebutuhan beban rumah tangga satu fasa 220 V.

4.1 Data Beban

Rating daya beban listrik sebesar 6.600 VA, 220V, 50Hz, dengan data beban pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Data beban rumah penelitian.

No.	Nama Peralatan	Jumlah	Daya (W)	Lama Penggunaan (jam)	Total Daya	
					Wh	kWh
1	Air conditioner A	1	1470.99	12	17651.976	17.651976
2	Air conditioner B	2	735.49	10	14709.98	14.70998
3	Kipas berdiri 16 inci	1	70	3	210	0.21
4	Kipas dinding 16 inci	2	60	6	720	0.72
5	Microwave	1	900	0.5	450	0.45
6	Kulkas	1	70	24	1680	1.68
7	Dispenser	1	420	24	10080	10.08
8	Mesin cuci	1	535	1	535	0.535
9	TV	1	45	2	90	0.09
10	Rice cooker	1	400	0.67	266.67	0.267
11	Printer	1	12	0.33	4	0.004
Total		13	4718.49	83.5	46397.623	46.39762

4.2 Equivalent Sun Hour

Untuk menentukan ESH di wilayah Lok Bahu, Kec. Sungai Kunjang, Kota Samarinda, Kalimantan Timur, dari data website: Solargis Map, situs data matahari dan GIS.



Gambar 4.1. Peta ESH Indonesia (solargis).

Sesuai dengan peta pada gambar 4.1 tersebut, maka telah ditandai Lokasi objek pemasangan PLTS ini, sehingga ESH pada lokasi tersebut adalah ESH = 4,4.

$$4,4 \text{ ESH} = 4 \times 1000 \text{ W/m}^2$$

4.3 Data Iradiasi dan Temperatur

Berdasarkan tabel tersebut, diketahui bahwa pada mulai dari jam 00:00 hingga pada jam 05:00 WITA, iradiasi matahari adalah sebesar 0. Hal ini terjadi juga pada saat matahari telah terbenam, yaitu pada jam 19:00 s/d 23:00 WITA. Untuk temperatur sendiri berada pada titik 23°C hingga 30°C.

Data tersebut menunjukkan bahwa puncak iradiasi matahari dan temperatur terjadi pada jam 11:00 s/d 13:00 WITA, dengan iradiasi rata-rata adalah 900 Wh/m² dan temperatur berada antara 29°C s/d 30°C.

Tabel 4.2. Data iradiasi dan tempertur lokasi pada 14 Februari 2024.

Tahun	Bulan	Tanggal	Jam	Iradiasi (Wh/m ²)	Temperatur (°C)
2024	2	14	0	0	23.76
2024	2	14	1	0	23.65
2024	2	14	2	0	23.6
2024	2	14	3	0	23.67
2024	2	14	4	0	23.68
2024	2	14	5	0	23.52
2024	2	14	6	24.24	23.64
2024	2	14	7	208.69	25.01
2024	2	14	8	462.37	26.51
2024	2	14	9	658.8	27.9
2024	2	14	10	740.7	29
2024	2	14	11	922.55	29.76
2024	2	14	12	909.46	30.22
2024	2	14	13	908.04	30.37
2024	2	14	14	799.91	30.24
2024	2	14	15	651.34	29.81
2024	2	14	16	423.27	29.13
2024	2	14	17	170.97	28.23
2024	2	14	18	9.86	27.24
2024	2	14	19	0	26.65
2024	2	14	20	0	26.09
2024	2	14	21	0	25.65
2024	2	14	22	0	25.36
2024	2	14	23	0	25.08
rata-rata				287.0916667	26.57375

4.4 Spesifikasi modul surya

Pada penelitian ini menggunakan panel Canadian solar dengan spesifikasi berikut ini.

Tabel 4.3. Spesifikasi panel yang digunakan.

Modul	Canadian solar Modul CS60 – 300P
Maximum Power	349,59 W
Open Circuit Voltage (Voc)	51,5 V
Voltage at maximum power point (V _{mp})	43 V
Cells per Modul (N _{cell})	80
Short-circuit current I _{sc}	9,4 A
Current at maximum power point (I _{mp})	8,13 A
Luasan penampang	1,92 m ²

Dalam menentukan jumlah panel dan modul surya, maka dilakukan perhitungan sebagai berikut:

1) Jumlah dan jam operasional beban

Digunakan efisiensi terbaik *inverter* yaitu 95%, sehingga:

Jam operasional (Ah)

$$= \frac{\text{total beban AC (Wh)}}{\text{efisiensi inverter (\%)}} = \frac{287.0916667 \text{ (Wh)}}{95\%} = 48839,60281 \text{ Wh}$$

2) Rugi-rugi sistem

Untuk mendapatkan keluaran total PLTS tanpa rugi sistem, maka perlu menambahkan 30% beban yang telah diperoleh sebelumnya.

$$\begin{aligned} &\text{Jam operasional} + 30 \% \\ &= 221,9981946\text{Ah} + 66,5994584 \\ &= 288,597653 \text{ Ah} \end{aligned}$$

- 3) ESH pada lokasi pemasangan PLTS adalah ESH = 4,4.

$$4,4 \text{ ESH} = 4 \times 1000 \text{ W/m}^2$$

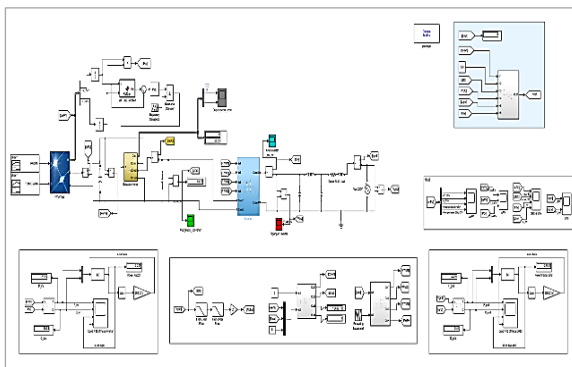
- 4) Jumlah aliran arus yang diperlukan:
- $$\text{arus PV} = \frac{\text{beban total}}{\text{ESH}} = \frac{288,597653}{4,4} = 65,59037567 \text{ A}$$

- 5) Jumlah modul dan rangkaian modul
Dengan menggunakan panel Canadian solar Modul CS60 – 300P, maka total panel surya yang dibutuhkan adalah:

- panel dipasang seri adalah $220\text{V}/45 = 5,1163$
atau panel dipasang seri sebanyak 5 buah.
- panel dipasang paralel adalah $65,59037567 \text{ A} / 8,14 \text{ A} = 8,0677$
atau total panel yang dipasang paralel sebanyak 8 buah.
- jumlah keseluruhan modul adalah $5 \times 8 = 40$ modul

4.5 Pemodelan Sistem PLTS on-grid dengan boost converter dan inverter dalam Matlab/Simulink

Pemodelan desain sistem PLTS on-grid dengan boost converter dan inverter yang terhubung ke beban listrik ac tetap dalam simulasi siklus 24 jam menggunakan simulasi Matlab/Simulink disajikan dalam gambar 4.2 berikut ini.



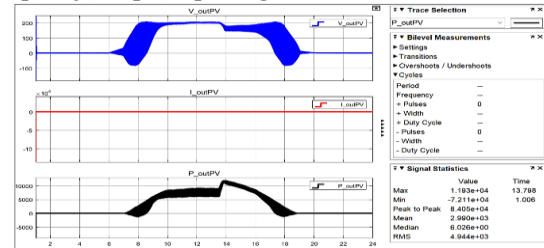
Gambar 4.2. Pemodelan sistem PLTS On-Grid dengan boost converter dan inverter dengan beban listrik ac.

4.6 Hasil Simulasi

Dari hasil pemodelan sistem PLTS on-grid dengan boost converter dan inverter dalam simulasi Matlab/Simulink, dilakukan simulasi pemodelan tersebut dalam siklus 24 jam dalam mode *powergui discrete*.

4.6.1 Output PV

Simulasi PV dalam kondisi tanpa beban dalam periode 24 jam, sehingga diperoleh bentuk profil outputnya seperti pada gambar 4.3.



Gambar 4.3. Bentuk profil tegangan output VoutPV, PoutPV dan IoutPV hasil simulasi sistem PV tanpa beban.

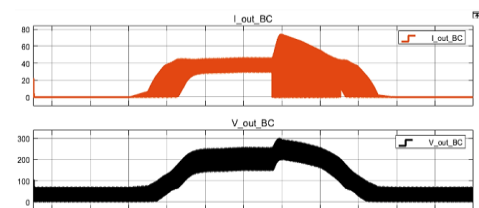
Profil V_{outPV} dan P_{outPV} mengikuti bentuk profil dari iradiasi dan temperatur surya dalam siklus 24 jam (garis warna merah dan hitam). Karena dalam PV dalam kondisi tanpa beban, sehingga I_{outPV} nol (sesuai dengan garis warna merah).

Dari hasil simulasi tersebut, diperoleh:

- Daya P_{outPV} maksimum sebesar 11.930 W terjadi diantara jam 13.00 hingga 14.00. Dan terendah pada jam 01.00 sebesar 0.00072 W.
- Tegangan V_{outPV} maksimum sebesar 210 V terjadi pada jam 07.32, dan terendah sebesar -82.5 volt terjadi pada pukul 17.24, saat tingkat iradiasi mulai turun dari 170.97 Wh/m² pada jam 17.00 menuju 9,86 Wh/m² pada jam 18.00.

4.6.2 Output Boost Converter

Profil output tegangan dan arus hasil simulasi pada boost converter, diperlihatkan pada gambar 4.4.



Gambar 4.4. Profil tegangan dan arus output boost converter hasil simulasi.

Bentuk profil tegangan V_{outBC} (garis hitam) dan arus output I_{outBC} (garis merah) boost converter mengikuti bentuk profil iradiasi matahari dalam siklus 24 jam.

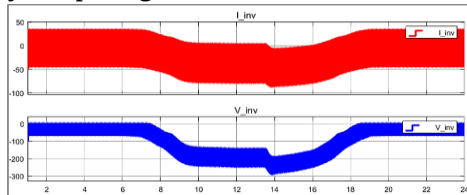
Parameter V_{outBC} hasil simulasi yang diperoleh yaitu: frekuensi 49,99 Hz, tegangan maksimum 299,9V pada jam 13.52, dan tegangan minimum 0,000462 V pada jam 01.00. Nilai $V_{\text{peak-to-peak-outBC}} = 299,99 \text{ V}$ dan nilai $V_{\text{RMS-outBC}} = 133,7 \text{ V}$.

Parameter $I_{\text{out-BC}}$ hasil simulasi yang diperoleh yaitu: frekuensi 1,462 kHz, arus maksimum 74,32

A pada jam 12.57 dan arus minimum -0,508 A pada jam 12.40. Nilai *peak to peak* arus = 74,83 A dan nilai RMS arus = 26,33 A.

4.6.3 Output Inverter

Profil tegangan output inverter V_{inv} (garis biru) dan profil arus output inverter I_{inv} (garis merah) hasil simulasi dalam periode 24 jam, disajikan pada gambar 4.5.

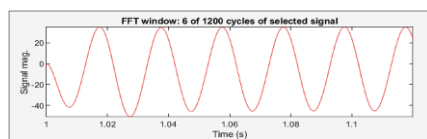


Gambar 4.5. Profil tegangan output inverter (garis biru) dan profil arus output inverter (garis merah) hasil simulasi.

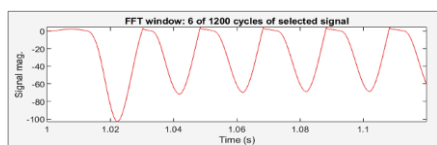
Parameter V_{inv} yang diperoleh yaitu: tegangan maksimum 4,385 V pada jam 18.55, dan tegangan minimum -292,6 V pada jam 12.52. Nilai $V_{peak-to-peak-outBC} = 297,0$ V dan nilai $V_{RMS-outBC} = 128,9$ V.

Parameter I_{inv} hasil simulasi yaitu: arus maksimum 35,2 A pada jam 00.10 dan arus minimum -87,87 A pada jam 12.51. Nilai *peak to peak* arus = 123,1 A dan nilai RMS arus = 37,61 A.

Pada gambar 4.6 memperlihatkan profil arus output inverter dan gambar 4.7 memperlihatkan profil tegangan output inverter dalam periode sinyal 6 siklus, dengan frekuensi dasar 49,99 Hz.

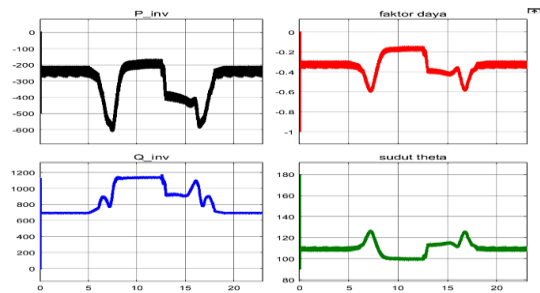


Gambar 4.6. Profil arus output inverter dengan periode sinyal 6 siklus.



Gambar 4.7. Profil tegangan output inverter dengan periode sinyal 6 siklus.

Pada gambar 4.8, memperlihatkan profil output inverter: daya aktif P, daya reaktif Q, faktor daya $\cos \theta$ dan sudut θ sebagai hasil simulasi dalam periode 24 jam.



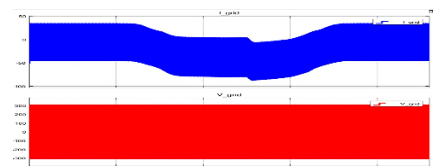
Gambar 4.8. Profil output inverter: daya aktif P, daya reaktif Q, faktor daya $\cos \theta$ dan sudut θ .

Tabel 4.4. Nilai parameter output inverter: P, Q, faktor daya $\cos \theta$ dan sudut θ .

Parameter Inverter	Nilai	
	rata-rata	rms
Daya aktif P (W)	-295,5	315,1
Daya reaktif Q (Var)	854,7	873,6
Faktor daya, $\cos \theta$	-0,3293	0,3445
Sudut θ (derajat)	109,4	109,6

4.6.4 Output Grid

Gambar 4.9 memperlihatkan profil output arus grid (biru) I_{grid} dan tegangan grid (merah) V_{grid} hasil simulasi dalam periode 24 siklus, dengan frekuensi dasar 50 Hz, 220 V, satu fasa.



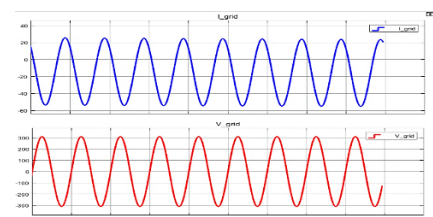
Gambar 4.9. Profil output arus grid (biru) I_{grid} dan tegangan grid (merah) V_{grid} hasil simulasi dalam periode 24 siklus.

Tabel 4.5 berikut ini menyajikan data parameter output grid I_{grid} dan V_{grid} hasil simulasi.

Tabel 4.5. Nilai parameter output grid I_{grid} dan V_{grid} .

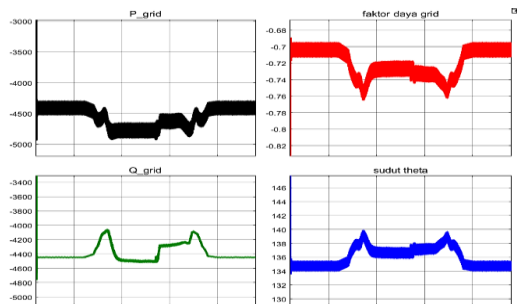
Parameter	V_{grid} (V)	I_{grid} (A)
Frekuensi (Hz)	50	50
max	311,1	35,19
min	-311,1	-87,87
<i>peak to peak</i>	622,3	123,1
rms	220,0	37,6

Gambar 4.10 menampilkan profil arus grid (biru) I_{grid} dan tegangan grid (merah) V_{grid} hasil simulasi dalam siklus 0,2 detik, dimana kedua profil tersebut berbentuk gelombang sinusoidal.



Gambar 4.10. Profil arus grid (biru) I_{grid} dan tegangan grid (merah) V_{grid} hasil simulasi dalam siklus 0,2 detik.

Pada gambar 4.11, memperlihatkan profil output grid: daya aktif P, daya reaktif Q, faktor daya $\cos \theta$ dan sudut θ sebagai hasil simulasi dalam periode 24 jam.



Gambar 4.11. Profil output grid: daya aktif P, daya reaktif Q, faktor daya $\cos \theta$ dan sudut θ .

Tabel 4.6. Nilai parameter output grid: P, Q, faktor daya $\cos \theta$ dan sudut θ .

Parameter Grid	Nilai	
	rata-rata	rms
Daya aktif P (W)	-4.550	4.555
Daya reaktif Q (Var)	-4.385	4.388
Faktor daya, $\cos \theta$	0,7199	0,7201
Sudut θ (derajat)	136,1	136,1

4.7 Analisis Hasil Simulasi

Susunan konfigurasi sistem PLTS *on-grid* dengan *boost converter* dan inverter berdasarkan kebutuhan daya beban listrik ac rumah satu fasa yaitu:

- PLTS yang didesain memiliki jam operasional total 288,597653 Ah dan besar arus 65,59 A. Panel surya yang digunakan, Canadian Solar Modul CS60-300P, dengan konfigurasi 5 modul seri dan 8 modul paralel, sehingga total 40 modul.
- Total daya listrik beban harian rumah tangga 4.718,49 W, dan total konsumsi energi listrik sebesar 46,397 kWh setiap hari.

Hasil simulasi pada keseluruhan sistem PV *on-grid* dengan hasil sebagai berikut:

- pada sisi keluaran panel PV, diperoleh hasil yaitu: tegangan rms 119,7 V, arus rms 109.6 A, dan daya aktif (P) 4.944 W.
- pada sisi keluaran *boost converter*, diperoleh hasil yaitu: tegangan rms 133,7 V, arus rms 26,33 A, dan frekuensi 49,99 Hz.
- pada sisi keluaran inverter, diperoleh hasil yaitu: tegangan rms 128,9 V, arus rms 37,61 A, daya aktif (P) 315,1 W, daya reaktif (Q) 873,6 VAR, faktor daya 0,3445 dan frekuensi 49,99 Hz.

- pada sisi keluaran grid, diperoleh hasil yaitu: tegangan rms 220,0 V, arus rms 37,6 A, daya aktif (P) 4.555 W, daya reaktif (Q) 4.388 VAR, faktor daya 0,7201 dan frekuensi 50 Hz.

Dari hasil tersebut diatas, diperoleh data $P_{\text{input}} = P_{\text{PV}} = 4.944$ W, dan $P_{\text{output}} = P_{\text{grid}} = 4.555$ W, maka dapat dihitung:

$$\text{rugi-rugi daya} = P_{\text{input}} - P_{\text{output}} = 389 \text{ W.}$$

Juga, dapat diperoleh nilai efisiensi sistem yaitu:

$$\eta = \frac{4.555}{4.944} \times 100\% = 92,13 \, \%.$$

5. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis hasil pemodelan dan simulasi sistem PLTS *on-grid* dengan *boost converter* dan inverter, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Pemodelan dan simulasi berdasarkan konfigurasi sistem PLTS *on-grid* dengan *boost converter* dan inverter berdasarkan kebutuhan daya beban listrik rumah satu fasa yaitu:
 - PLTS yang didesain memiliki jam operasional total 288,597653 Ah dan memerlukan aliran arus 65,59 A. Panel surya yang digunakan, Canadian Solar Modul CS60-300P, dengan 5 modul seri dan 8 modul paralel, sehingga total 40 modul.
 - Dan total daya listrik beban harian rumah tangga 4.718,49 W, dan total konsumsi energi listrik harian sebesar 46,397 kWh.
- hasil pemodelan dan simulasi, diperoleh data sebagai berikut:
 - pada sisi keluaran panel PV, diperoleh hasil yaitu: tegangan rms 119,7 V, arus rms 109.6 A, dan daya aktif (P) 4.944 W.
 - pada sisi keluaran inverter, diperoleh hasil yaitu: tegangan rms 128,9 V, arus rms 37,61 A, daya aktif (P) 315,1 W, daya reaktif (Q) 873,6 VAR, faktor daya 0,3445 dan frekuensi 49,99 Hz.
 - pada sisi keluaran beban grid, diperoleh hasil yaitu: tegangan rms 220,0 V, arus rms 37,6 A, daya aktif (P) 4.555 W, daya reaktif (Q) 4.388 VAR, faktor daya 0,7201 dan frekuensi 50 Hz.
- hasil pemodelan dan simulasi, diperoleh: rugi-rugi daya = 389 W, dan efisiensi sistem 92,13%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak terkait yang telah memberi dukungan terhadap penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] “Siagian, A. W., Alghazali, M. S. D., & Alify, R. F. (2022). MenujuTransisiEnergi 2050: Quo Vadis Energi Baru dan Terbarukan. *Jurnal Hukum Lingkungan Indonesia*, 9(1), 1-15. <https://doi.org/10.38011/jhli.v9i1.471>, diakses pada 7 Mei 2024”.
- [2] Restu Nurohmah, Toto Tohir, and Sofyan Muhammad Ilman, “Desain dan Implementasi Sistem PLTS Off-Grid Skema Hibrida Sebagai Alternatif Suplai Daya Listrik Beban Satu Fasa,” *JITET (Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan)*, vol. 12, no. 3S1, pp. 3471–3478, Dec. 2024, doi: <http://dx.doi.org/10.23960/jitet.v12i3S1.4959>.
- [3] “Nurtiyanto, W. A., Rosyani, P., Solihin, L., & Prayogo, W. (2022). AnalisisEfisiensi Inverter pada Grid-Connected 50 KWp UNPAM Viktor. *Journal of Sustainable Energy and Environment (JoSyC)*, 3(4), 348-355. <https://ejurnal.seminar-id.com/index.php/josyc> DOI”.
- [4] Sripanus Sungkalang, Eva Magdalena Silalahi, and Bambang Widodo, “Pemodelan dan Simulasi On-Grid Photovoltaic Dengan Grid-Tied Inverter Menggunakan Matlab/Simulink,” *Jurnal Lektrokom*, vol. 6, no. 2, pp. 75–86, Aug. 2023, doi: <https://doi.org/10.33541/lektrokom.v6i2.5164>.
- [5] G. A. R. Martha, I. A. D. Giriantari, and I. W. Sukerayasa, “Studi Performance PLTS Rooftop 3KWP Frameless with On-Grid System di Lingkungan Perumahan Kori Nuansa Jimbaran,” *Jurnal Teknik ITS*, vol. 3, no. 2, 2022.
- [6] “Zambak, M. F., Lubis, K., & Faisal, A. (2023). RancangBangunPembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Pada Laboratorium Teknik UMSU MenggunakanSimulasiPV Syst. *JurnalInovasiTeknologi Dan Sains (JITEKS)*, 14(2), 72-77. <https://www.neliti.com/id/publications/565>”.
- [7] Jenni Lisdawati, Eva Magdalena Silalahi, and Robinson Purba, “Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sistem On-Grid Berbasis Homer Untuk Memenuhi Energi Listrik Di Sekolah Menengah Pertama Negeri (SMPN) 1 Teriak, Bengkayang Kalimantan Barat,” *Jurnal Lektrokom*, vol. 5, no. 1, pp. 38–46, Aug. 2022.
- [8] Riyan Siyentanu Mareat Sakeru, Eva Magdalena Silalahi, and Robinson Purba, “Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sistem On-Grid Untuk Memenuhi Kebutuhan Listrik Base Transceiver Station (BTS) di Desa Sabi Samukop Kepulauan Mentawai,” *Jurnal Lektrokom*, vol. 6, no. 1, pp. 14–23, Feb. 2023.
- [9] Mila Novita, Eva Magdalena Silalahi, Bambang Widodo, and Robinson Purba, “Evaluation of solar power’s potential to fulfill Tidung Island’s electricity demands,” *AIP Conf Proc*, vol. 3039, no. 1, Aug. 2024.
- [10] Emilia Veronika, Eva Magdalena Silalahi, Bambang Widodo, and Robinson Purba, “Analysis of the hybrid power plants of PLTD and PLTS on Tidung Island, Seribu Islands, DKI Jakarta using homer,” in *AIP Conference Proceedings*, AIP Conference Proceedings, Aug. 2024, p. 020004. doi: 10.1063/5.0209809.
- [11] H. Desrizal and I. H. Rosma, “Analisis Ketersediaan Sistem Pembangkit BerbasisP embangkit Listrik Tenaga Angin (PLTB) dan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS),” *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau*, vol. 5, no. 1, pp. 1–8, 2018, Accessed: Jan. 04, 2025. [Online]. Available: <https://www.neliti.com/publications/199951/analisis-ketersediaan-sistem-pembangkit-berbasiskan-pembangkit-listrik-tenaga-an>
- [12] Agung Pribadi, “Indonesia Kaya Energi Surya, Pemanfaatan Listrik Tenaga Surya oleh Masyarakat Tidak Boleh Ditunda,” KEMENTERIAN ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL Republik Indonesia. Accessed: Dec. 04, 2024. [Online]. Available: <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/indonesia-kaya-energi-surya-pemanfaatan-listrik-tenaga-surya-oleh-masyarakat-tidak-boleh-ditunda>
- [13] A. H. Smets, K. Jäger, O. Isabella, M. Zeman, and R. A. van Swaaij, *Solar Energy: The Physics And Engineering of Photovoltaic Conversion, Technologies and Systems*. England: UIT CAMBRIDGE, 2015.
- [14] Samsurizal, Kartika Tresya Mauriraya, M. Fikri, N. Pasra, and Christiono, *Pengenalan Pembangkit listrik tenaga surya*, 1st ed. Jakarta Barat: Institut Teknologi PLN, 2021.
- [15] I. Bostan, A. Gheorghe, V. Dulgheru, I. Sobor, V. Bostan, and A. Sochirean, “Solar Energy,” 2013, pp. 47–164. doi: 10.1007/978-94-007-4189-8_3.