

# ANALISIS UNJUK KERJA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) ATAP ON-GRID 463,25 kWp DI PERUSAHAAN FARMASI PADA KAWASAN PT JAKARTA INDUSTRIAL ESTATE PULOGADUNG, JAKARTA TIMUR

Neysa Amelia Hutagalung<sup>1</sup>, I Nyoman Setiawan<sup>2</sup>, I Wayan Sukerayasa<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

<sup>2</sup>Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana  
Jl. Raya Kampus Unud Jimbaran, Kec. Kuta Sel, Kabupaten Badung, Bali 80361

[nesaamelia22@gmail.com](mailto:nesaamelia22@gmail.com)<sup>1</sup>, [setiawan@unud.ac.id](mailto:setiawan@unud.ac.id)<sup>2</sup>, [sukerayasa@unud.ac.id](mailto:sukerayasa@unud.ac.id)<sup>3</sup>

## ABSTRAK

Penggunaan PLTS atap di sektor industri saat ini sedang meningkat. Menurut Ditjen EBTKE, potensi energi baru terbarukan di Indonesia mencapai 442 GW, dengan energi surya memiliki potensi terbesar. Performa sistem PLTS perlu diperhatikan untuk memastikan kinerja yang baik dalam menghasilkan energi listrik. Fokus investigasi ini adalah solar array berkapasitas 463,25 kWp yang dipasang di atap pabrik farmasi PT Jakarta Industrial Estate Pulo Gadung. Program PVSyst digunakan untuk mensimulasikan kapasitas pembangkit listrik sistem PLTS guna melakukan studi kinerja. Untuk periode satu tahun, mulai November 2021 hingga Oktober 2022, ditentukan Yield Factor (Yf), Yield Reference (Yr), Performance Ratio (PR), dan Capacity Utilization Factor (CUF) sistem PLTS komunal. Prediksi output tahunan dari PLTS sistem tenaga listrik on-grid 463,25 kWp adalah 629.550 kWh, menurut simulasi. Nilai parameter performa sistem PLTS adalah: Faktor Hasil (Yf) sebesar 1.358,99 kWh/kWp, Referensi Hasil (Yr) sebesar 1.730,6 kWh/kW, Rasio Performa (PR) sebesar 78,56%, dan Faktor Pemanfaatan Kapasitas (CUF) sebesar 15,73%. Sementara itu, produksi listrik yang sebenarnya selama satu tahun adalah 570.724,82 kWh, dengan parameter performa sistem PLTS sebagai berikut: Faktor Hasil (Yf) sebesar 1.232 kWh/kWp, Referensi Hasil (Yr) sebesar 1.642,85 kWh/kW, Rasio Performa (PR) sebesar 76,12%, dan Faktor Pemanfaatan Kapasitas (CUF) sebesar 14,26%. Terdapat selisih antara simulasi software PVSyst dan hasil sebenarnya, yaitu 58.825,18 kWh atau 9,34%, 126,98 kWh/kWp, 87,75 kWh/kW, 2,44%, dan 1,47% secara berurutan.

**Kata kunci:** PLTS Atap, Unjuk Kerja, On-Grid, Produksi Listrik, PVSyst.

## ABSTRACT

The number of PLTS installed on factory rooftops is growing. In Indonesia, the Directorate General of New, Renewable Energy estimates a total renewable energy potential of 442 GW, with solar energy holding the greatest potential. The performance of the PLTS system needs to be considered to ensure good performance in generating electricity. This research focuses on the rooftop on-grid PLTS system in a Pharmaceutical Company located in the PT Jakarta Industrial Estate Pulo Gadung area, with a capacity of 463.25 kWp. Electricity generation potential is modeled using PVSyst software for examination of the PLTS system's performance. For the period of one year, from November 2021 through October 2022, the PLTS system's performance characteristics are determined. These include the Yield Factor (Yf), Reference Yield (Yr), Performance Ratio (PR), and Capacity Utilization Factor (CUF). According to the model, the 463.25 kWp on-grid rooftop PLTS system may generate up to 629,550 kWh of power each year. The values of the PLTS system performance parameters are as follows: Yield Factor (Yf) is 1,358.99 kWh/kWp, Reference Yield (Yr) is 1,730.6 kWh/kW, Performance Ratio (PR) is 78.56%, and Capacity Utilization Factor (CUF) is 15.73%. Meanwhile, the actual electricity production for one year is 570,724.82 kWh, with the following performance parameters for the PLTS system: Yield Factor (Yf) is 1,232 kWh/kWp, Reference Yield (Yr) is 1,642.85 kWh/kW, Performance Ratio (PR) is 76.12%, and Capacity Utilization Factor (CUF) is 14.26%. There is a difference between the PVSyst software simulation and the actual results, which are 58,825.18 kWh, 126.98 kWh/kWp, 87.75 kWh/kW, 2.44%, and 1.47% respectively.

**Keywords:** Rooftop Solar Power Plants, Performance, On-Grid, Electricity Production, PVSyst.

## 1. PENDAHULUAN

Peran energi listrik sangat signifikan dalam mendukung segala aktivitas manusia, karena listrik telah menjadi komponen krusial dalam kehidupan manusia di berbagai sektor, termasuk industri, teknologi, dan lingkungan [1]. Tingkat konsumsi energi juga menjadi indikator penting dalam mengukur kemajuan dan perkembangan suatu negara. Menurut data yang dirilis oleh PLN pada tahun 2022, terjadi peningkatan sebesar 1,03% dalam penjualan listrik, dengan total mencapai 22,45 GWh [2]. Selain itu, berdasarkan proyeksi energi Indonesia tahun 2021, kebutuhan energi listrik diperkirakan akan tumbuh sekitar 4,7% per tahun hingga tahun 2050. Salah satu sektor dengan kebutuhan listrik paling tinggi adalah sektor industri, yang hampir mencapai 38% [3], dan kebutuhannya diperkirakan akan terus meningkat karena adanya pertumbuhan industri baru.

Kenaikan permintaan energi listrik tidak diimbangi dengan ketersediaan energi saat ini, sehingga diperlukan sumber energi alternatif untuk memenuhi kebutuhan listrik di Indonesia. Menurut data yang dirilis oleh Ditjen EBTKE pada tahun 2018, potensi total energi terbarukan di Indonesia mencapai

442 GW, dengan potensi energi surya menjadi yang terbesar, mencapai 207,9 GWp [3]. Pemerintah saat ini sedang mengembangkan penggunaan energi terbarukan dengan cara melaksanakan KEN, Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 70 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional. Pada tahun 2025, pemerintah mensyaratkan agar energi terbarukan mencapai 23% dari bauran energi, dan pada tahun 2050, angka tersebut akan meningkat menjadi 31% [4].

Peningkatan penggunaan PLTS atap menjadi tren yang mendorong pelanggan PLN di berbagai sektor untuk memanfaatkan PLTS atap sebagai sumber listrik. Menurut data ESDM pada tahun 2021, saat ini, sebanyak 3.781 pelanggan PLN telah memasang PLTS di rooftop, sehingga menambah kapasitas PLTS perseroan secara keseluruhan sebesar 31,32 MWp. [5]. Sektor industri memiliki kapasitas terbesar, mencapai 11.05 MWp [6], dan kapasitas ini diperkirakan akan terus meningkat seiring dengan penurunan biaya pemasangan PLTS serta kemajuan

teknologi pendukung sistem PLTS [7]. Namun, saat ini terdapat tantangan dalam mempertahankan kinerja sistem PLTS. Unjuk kerja sistem PLTS mengacu pada evaluasi kinerja sistem PLTS selama penggunaan. Berbagai bagian yang membentuk PLTS masing-masing memiliki umurnya sendiri. Setiap tahun, terjadi degradasi dalam performa komponen-komponen tersebut, yang mengakibatkan penurunan efisiensi dalam menghasilkan energi listrik [8].

PLTS on-grid 463,25 kWp dipasang di 4 zona atap gedung bisnis farmasi di Jakarta Timur, dan kinerjanya dianalisis di sini. Penelitian ini akan membandingkan hasil simulasi PVSyst dengan sistem aktual untuk memastikan kinerjanya dalam hal faktor hasil, hasil referensi, rasio kinerja, dan faktor pemanfaatan kapasitas. Penting juga untuk menyelidiki mengapa nilai kinerja kedua sistem sangat berbeda.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Energi Surya dan PLTS

Cahaya matahari dan panas dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan apa yang dikenal sebagai energi matahari. Menggunakan sel surya, yang mengubah cahaya menjadi listrik, energi ini dapat digunakan untuk rumah listrik dan bisnis [9].

Mengubah radiasi matahari menjadi listrik adalah proses di mana energi matahari digunakan sebagai sumber tenaga listrik. Prinsip fotolistrik terletak di PLTS, yang memungkinkan sel surya menciptakan daya DC dengan pergerakan elektron dari kutub negatif sel surya ke daerah positifnya, yang berisi lubang. Menggunakan inverter, aplikasi ini dapat menyediakan listrik AC [10]. PLTS dapat digambarkan seperti Gambar 1.



Gambar 1. PLTS

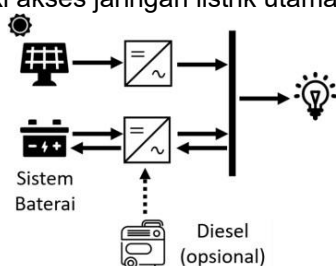
### 2.2 Konfigurasi Sistem PLTS

PLTS merupakan sistem yang instalasinya dapat menggunakan penyimpanan seperti baterai atau

langsung terhubung dengan jaringan utilitas.

### 1. PLTS Off-Grid

Salah satu jenis sistem PLTS dikenal dengan istilah "off grid" karena terputus dari jaringan listrik. Penyiapan ini menggunakan tenaga surya sebagai satu-satunya sumber energi, sehingga membutuhkan baterai untuk penyimpanan energi, dan karena itu sering disebut sebagai "sistem yang berdiri sendiri" [11]. Gambar 2 menggambarkan pemasangan PLTS yang digunakan di daerah yang tidak memiliki akses jaringan listrik utama.



Gambar 2. PLTS Off-Grid [12]

### 2. PLTS On-Grid

PLTS *on grid* adalah salah satu yang disambungkan ke jaringan listrik publik. Sistem PLTS *on-grid* tidak menggunakan baterai, sehingga tidak dapat dioperasikan pada malam hari atau saat tidak terhubung ke jaringan utilitas. Tujuan dari pemasangan sistem PLTS ini adalah untuk mengurangi penggunaan energi listrik dari penyedia jaringan dan melakukan penghematan [13]. Sistem PLTS *on-grid* dapat dilihat pada Gambar 3.

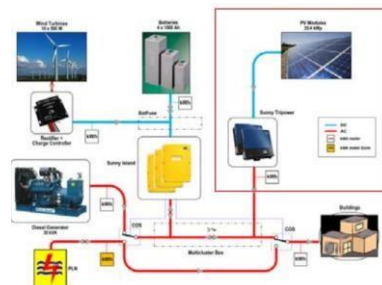


Gambar 3. PLTS On-Grid [14]

### 3. PLTS Hybrid

PLTS *hybrid* merupakan PLTS yang menggunakan sistem gabungan *on-grid* dan *off-grid* atau PLTS yang berkolaborasi antara 2 atau lebih sistem pembangkit lainnya seperti energi angin,

air, atau genset. Penggunaan beberapa sumber pada PLTS sistem hybrid ini bertujuan untuk mengoptimalkan pembangkit untuk saling melengkapi [12]. Sistem PLTS hybrid dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. PLTS Hybrid [15]

## 2.3 Analisis Performansi PLTS

Rumus di bawah ini menjelaskan karakteristik kinerja PLTS menurut standar IEC 61724, pedoman pemantauan kinerja sistem fotovoltaik untuk pengukuran, berbagi data, dan analisis. [16]:

### 1. Yield Factor

*Yield factor* suatu sistem PLTS adalah perbandingan antara jumlah energi yang dibangkitkan dalam bentuk AC oleh susunan PLTS yang terpasang terhadap jumlah jam matahari per kilowatt-puncak. Menggunakan *Standard Test Conditions* (STC), khususnya koefisien iradiasi 1000 W/m<sup>2</sup> dan suhu 25°C, parameter ini ditentukan. Penghitungan akhir akan dilaporkan dalam hal produksi bersih (*net*) secara tahunan, bulanan, atau harian [17].

$$Y_f = \frac{E_{AC}}{P_{PV}} (kWh_{AC}/kW_{pDC}) \quad (2.1)$$

Keterangan:

$Y_f$  = Yield Factor (kWh/kWp)

$E_{AC}$  = Keluaran energi AC ke jaringan (kWh<sub>AC</sub>)

$P_{PV}$  = Kapasitas terpasang PLTS (kW<sub>pDC</sub>)

### 2. Reference Yield

*Reference yield* atau juga dikenal sebagai *peak sun hours* adalah hasil dari total radiasi matahari yang diserap oleh permukaan panel surya dalam satuan kWh/m<sup>2</sup>, dibagi dengan irradiasi *array* STC yang memiliki nilai 1000 W/m<sup>2</sup>. Dengan kata lain, *reference yield* menggambarkan jumlah jam sinar matahari puncak yang diterima oleh permukaan tersebut [18].

$$Y_R = \frac{H_T}{G_{STC}} \quad (2.2)$$

Keterangan:

$Y_R$  = Reference Yield (kWh/kW)

$H_T$  = Irradiansi pada bidang array (kWh/m<sup>2</sup>)

$G_{STC}$  = Irradiansi referensi STC (1 kW/m<sup>2</sup>)

### 3. Performance Ratio

*Performance ratio* adalah ukuran kinerja sebuah sistem PLTS dalam mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Nilai PR direpresentasikan dalam bentuk persentase dan mencerminkan kualitas sistem PLTS saat beroperasi. *Performance ratio* dapat menunjukkan rugi-rugi yang akan menjadi hasil akhir dalam produksi listrik [19].

$$PR = \frac{Y_F}{Y_R} \times 100\% \quad (2.3)$$

Keterangan:

PR = *Performance Ratio* (%)

YF = *Final Yield* (kWh/kWp)

YR = *Reference Yield* (kWh/kW)

### 4. Capacity Utilization Factor

*Capacity Utilization Factor* (CUF) adalah perbandingan kinerja sistem PLTS yang mengukur *output* energi listrik yang dapat dihasilkan dalam setiap jam selama satu tahun. CUF menghitung berapa banyak daya nominal yang digunakan selama 24 jam setiap hari dalam setahun. Perhitungan CUF sistem PLTS umumnya diungkapkan dalam bentuk persentase [20].

$$CUF = \frac{Y_F}{8760} \times 100\% \quad (2.4)$$

Keterangan:

CUF = *Capacity Utilization Factor* (%)

$Y_F$  = *Final Yield* (kWh/kWp)

### 2.4 Software PVSyst

PVSyst adalah sebuah perangkat lunak yang secara komprehensif digunakan untuk proses pembelajaran, pengukuran (*sizing*), dan analisis data dari sistem PV. Universitas Jenewa membuat program ini untuk mensimulasikan sistem *on-grid* dan *off-grid*, sistem pemompaan, dan jaringan arus langsung untuk transportasi umum [21]. Perangkat lunak ini terdiri dari *database* yang bersumber data meteorologi serta komponen-komponen sistem PLTS yang lengkap. Salah satu sumber data meteorologi yang digunakan PVSyst bersumber dari *Meteonorm V7.1* (interpolasi 1960-1990 atau 1981-2000), EPW (untuk Kanada), ResScreen, Solar GIS (*paid feature*) [22].

### 3. METODE PENELITIAN

Berikut cara pengumpulan data untuk studi yang menganalisis kinerja sistem PLTS 463,25 kWp yang digunakan di pabrik farmasi:

1. Melakukan pengamatan secara langsung di Perusahaan Farmasi yang terletak di kawasan PT Jakarta Industrial Estate Pulogadung, Jakarta Timur untuk mengobservasi sistem PLTS.
2. Mengambil data-data penunjang penelitian yang meliputi konfigurasi sistem, kondisi lingkungan sistem PLTS, dan data aktual produksi listrik dari sistem PLTS.
3. Melakukan simulasi penghitungan potensi PLTS dengan menggunakan *software* PVSyst.
4. Melakukan analisis perbandingan performa PLTS berdasarkan data produksi energi listrik secara simulasi PVSyst dengan data produksi riil dari sistem PLTS eksisting.
5. Melakukan identifikasi faktor-faktor yang memengaruhi perbedaan produksi energi listrik hasil simulasi dengan produksi riil.
6. Membuat kesimpulan berdasarkan hasil analisis.

### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Gambaran Umum Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Perusahaan Farmasi yang terletak di PT Jakarta Industrial Estate, yang berada di Jalan Pulomas Selatan Kav. No.3, RT.3/RW/13, Kayu Putih, Kecamatan Pulo Gadung, Kota Jakarta Timur, Daerah Khusus Ibukota Jakarta. Gambar 5 menunjukkan lokasi sistem PLTS di Perusahaan Farmasi.



Gambar 5. Lokasi PLTS

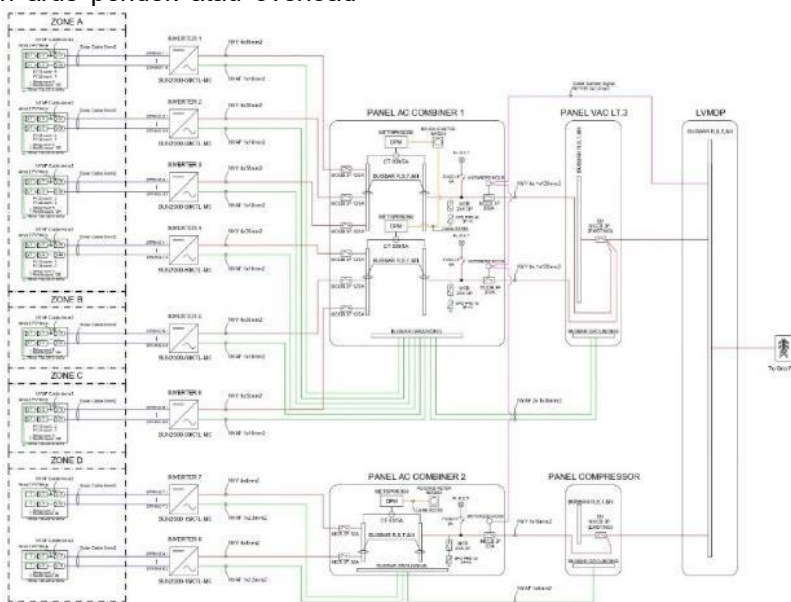
#### 4.2 Konfigurasi Sistem PLTS



Sistem PLTS on-grid terletak pada atap Perusahaan Farmasi seluas 12.000 m<sup>2</sup> dengan kapasitas 463,25 kWp. PLTS ini terbagi menjadi 4 zona atap yang dikonfigurasi secara flush mount yaitu atap zona A, atap zona B, atap zona C, dan atap zona D. Sistem PLTS menggunakan 850 buah modul surya dengan merek Trina Solar TSM-DE19 berkapasitas 545 Wp berjenis monocrystalline dan 8 buah inverter dengan rincian 6 buah inverter dengan kapasitas 60 kW dan 2 buah inverter dengan kapasitas 15 kW. Pada atap zona A, B, dan C terhubung dengan 6 buah inverter berkapasitas 60 kW untuk mengubah arus DC menjadi arus AC, lalu terhubung dengan busbar grounding pada panel AC Combiner 1. Arus AC yang dihasilkan oleh inverter kemudian dihubungkan ke Panel AC Combiner 1 yang terdapat proteksi untuk mengamankan arus pendek atau overload

sebelum disalurkan ke LVMDP, sedangkan pada atap zona D terhubung dengan 2 buah inverter berkapasitas 15 kW, lalu terhubung dengan busbar grounding pada panel AC Combiner 2. Arus AC yang dihasilkan oleh inverter kemudian dihubungkan ke Panel AC Combiner 2. Di dalam Panel AC Combiner 2 terdapat proteksi yang digunakan untuk mengamankan arus pendek atau overload sebelum disalurkan ke LVMDP.

Output daya yang dari setiap inverter kemudian dialirkan ke beban penggunaan pada setiap lantai perusahaan farmasi. Berdasarkan hasil produksi energi listrik, didapatkan bahwa tidak terjadi ekspor impor karena tingginya jumlah konsumsi energi listrik setiap jamnya. Struktur PLTS Perusahaan Farmasi Jakarta Timur ditunjukkan pada Gambar 6 sebagai gambar garis sederhana.



Gambar 6. Single Line Diagram Sistem PLTS Atap On-Grid 463,25 kWp di Perusahaan Farmasi

#### 4.3 Produksi Listrik PLTS Perusahaan Farmasi November 2021 – Oktober 2022

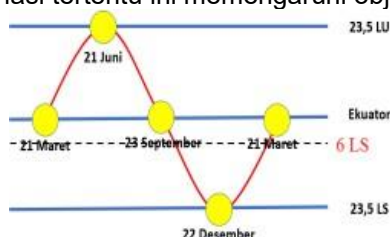
Dari November 2021 hingga Oktober 2022, Tabel 1 menampilkan angka *output* energi bulanan yang diambil langsung dari *database ethernet inverter* melalui situs web Fusion Solar Huawei. 570.724,82 kilowatt-jam adalah total nilai produksi dari daya yang dihasilkan.

Tabel 1. Produksi Listrik PLTS On-Grid 463,25 kWp November 2021 – Oktober 2022

Bulan	Energi (kWh)
November 2021	48.591,80

Desember 2021	47.888,90
Januari 2022	48.118,69
Februari 2022	42.754,13
Maret 2022	52.163,24
April 2022	47.553,57
Mei 2022	44.706,24
Juni 2022	38.788,90
Juli 2022	49.366,80
Agustus 2022	53.418,42
September 2022	47.719,03
Oktober 2022	48.655,10
<b>Total</b>	<b>570.724,82</b>
<b>Rata-rata</b>	<b>47.560,40</b>

Produksi energi listrik sistem PLTS atap *on-grid* 463,25 kWp selama satu tahun dari bulan November 2021 – Oktober 2022 yaitu sebesar 570.724,82 kWh dengan rata-rata produksi setiap bulannya 47.560,40. Bulan Agustus merupakan periode dengan produksi listrik tertinggi, hal ini dipengaruhi oleh sudut deklinasi matahari yang sejajar dengan letak modul surya pada  $6^{\circ}10'53.73''$  LS. Akibatnya, modul surya akan menyerap sinar matahari sebanyak mungkin. Sedangkan pada bulan Juni keluaran energi berada pada terendah sejak deklinasi matahari berada pada titik paling utara, 23,50 derajat, dan karena itu radiasi yang dipancarkan ke permukaan modul surya kurang dari maksimum pada saat itu. Gambar 7 menunjukkan bagaimana sudut deklinasi tertentu ini memengaruhi objek.



Gambar 7. Sudut Deklanasi Matahari

#### 4.4 Analisis Performa Riil Sistem PLTS On-Grid 463,25 kWp di Perusahaan Farmasi pada Bulan November 2021 – Oktober 2022

Data produksi dari sistem PLTS dianalisis untuk menentukan kinerja sebenarnya sistem dari November 2021 hingga Oktober 2022. Pengukuran analitis meliputi faktor hasil (Yf), hasil referensi (Yr), rasio kinerja (PR), dan faktor utilitas kapasitas (CUF).

##### 1. Yield Factor (Yf)

Tabel 2 menampilkan faktor hasil yang dihitung yang diturunkan dengan menyelesaikan persamaan 2.1.

Tabel 2. Yield Factor PLTS On-Grid 463,25 kWp pada Bulan November 2021 – Oktober 2022

Bulan	Yf (kWh/kWp)
November 2021	104,89
Desember 2021	103,38
Januari 2022	106,03
Februari 2022	92,29
Maret 2022	112,60
April 2022	102,65
Mei 2022	96,51
Juni 2022	83,73

Juli 2022	106,57
Agustus 2022	115,31
September 2022	103,01
Oktober 2022	105,03
<b>Total</b>	<b>1.232</b>
<b>Rata-rata</b>	<b>102,67</b>

Dapat dilihat pada Tabel 2 nilai total antara November 2021 sampai Oktober 2022 adalah 1.232 kWh/kWp, faktor hasil rata-rata adalah 102,67 kWh/kWp, atau 102,67 jam/bulan. Faktor hasil tertinggi tercatat pada bulan Agustus sebesar 115,31 kWh/kWp atau 115,31 jam/bulan, sedangkan faktor hasil terendah tercatat pada bulan Juni sebesar 83,73 kWh/kWp atau 83,73 jam/bulan.

##### 2. Reference Yield (Yr)

Hasil referensi ditunjukkan pada Tabel 3 berdasarkan data radiasi tahunan yang diambil dari *database ethernet inverter* dan dihitung menggunakan persamaan 2.2. November 2021 s/d Oktober 2022 Hasil Referensi PLTS On-Grid 463,25 kWp.

Tabel 3. Reference Yield PLTS On-Grid 463,25 kWp pada Bulan November 2021 – Oktober 2022

Bulan	Yr (kWh/kW)
November 2021	149,78
Desember 2021	149,96
Januari 2022	152,28
Februari 2022	135,17
Maret 2022	164,11
April 2022	102,40
Mei 2022	132,60
Juni 2022	115,15
Juli 2022	142,17
Agustus 2022	154,66
September 2022	136,76
Oktober 2022	107,81
<b>Total</b>	<b>1.642,85</b>
<b>Rata-rata</b>	<b>136,90</b>

Tabel 3 menunjukkan bahwa total hasil referensi dari November 2021 hingga Oktober 2022 adalah 1.642,85 kWh/kW (1.642,85 jam/tahun), dengan rata-rata hasil referensi 136,90 kWh/kW (136,90 jam/bulan), nilai hasil referensi tertinggi terjadi di Maret (2021) sebesar 164,11 kWh/kW (2021) dan terendah terjadi pada bulan Juni (2021) sebesar 115,15 kWh/kW.

##### 3. Performance Ratio (PR)

Melalui perhitungan dengan persamaan 2.3, diperoleh hasil *performance ratio* yang tercatat pada Tabel 4.

Tabel 4. Performance Ratio PLTS On-Grid 463,25 kWp pada Bulan November 2021 – Oktober 2022

Bulan	PR (%)
November 2021	70,03
Desember 2021	68,94
Januari 2022	69,63
Februari 2022	68,28
Maret 2022	68,61
April 2022	72,60
Mei 2022	72,78
Juni 2022	72,72
Juli 2022	74,96
Agustus 2022	74,56
September 2022	75,32
Oktober 2022	79,68
<b>Rata-rata</b>	<b>72,34</b>

Tabel 4 menunjukkan bahwa rasio kinerja sistem PLTS rata-rata 72,34% dari November 2021 hingga Oktober 2022, dengan rasio kinerja terbaik tercatat pada Oktober (2022) sebesar 79,68% dan rasio kinerja terendah tercatat pada Februari (2022) sebesar 68,28%.

#### 4. Capacity Utilization Factor (CUF)

Tabel 5 menampilkan hasil perhitungan faktor utilisasi kapasitas dengan menggunakan persamaan 2.4.

Tabel 5. capacity utilization factor PLTS On-Grid 463,25 kWp pada Bulan November 2021 – Oktober 2022

Bulan	CUF (%)
November 2021	14,57
Desember 2021	14,36
Januari 2022	14,73
Februari 2022	12,82
Maret 2022	15,64
April 2022	14,26
Mei 2022	13,40
Juni 2022	11,63
Juli 2022	14,80
Agustus 2022	16,02
September 2022	14,31
Oktober 2022	14,59
<b>Rata-rata</b>	<b>14,26</b>

Untuk periode November 2021 hingga Oktober 2022, nilai CUF yang ditunjukkan pada Tabel 5 bervariasi dari 11% hingga 16%, dengan Agustus menunjukkan nilai

tertinggi sebesar 16,02% dan November menunjukkan nilai terendah sebesar 11% pada bulan Juni sebesar 11,63% dengan rata-rata nilai CUF sebesar 14,26%.

#### 4.5 Potensi Produksi Listrik PLTS Perusahaan Farmasi November 2021 – Oktober 2022 Menggunakan Software PVSyst

Dari November 2021 hingga Oktober 2022, potensi produksi listrik PLTS dihitung menggunakan data simulasi PVSyst yang diperoleh tanpa memperhitungkan faktor *shading*.

Tabel 6. Potensi Produksi Listrik PLTS On-Grid 463,25 kWp November 2021 – Oktober 2022 menggunakan Software PVSyst

Bulan	Radiasi Matahari Horizontal Bulanan (kWh/m <sup>2</sup> /month)	Energi Listrik ke Jaringan (kWh)
November 2021	173,4	63.210
Desember 2021	132,4	48.540
Januari 2022	107	39.110
Februari 2022	109,5	40.190
Maret 2022	139,1	50.430
April 2022	146,2	53.180
Mei 2022	149,4	54.230
Juni 2022	142,4	51.830
Juli 2022	148,7	53.940
Agustus 2022	166,9	60.460
September 2022	160,5	57.990
Oktober 2022	155,1	56.440
<b>Total</b>	<b>1730,6</b>	<b>629.550</b>

#### 4.6 Analisis Performa Sistem PLTS On-Grid 463,25 kWp di Perusahaan Farmasi pada Bulan November 2021 – Oktober 2022 Hasil Simulasi Software PVSyst

Keluaran energi dari sistem PLTS disimulasikan dalam PVSyst, dan Yf, Yr, PR, dan CUF digunakan sebagai kriteria analisis.

##### 1. Yield Factor (Yf)

Tabel 7 menampilkan hasil perhitungan faktor hasil yang dilakukan dengan menggunakan persamaan 2.1. Tabel 7. Yield Factor PLTS On-Grid 463,25 kWp pada Bulan November

2021 - Oktober 2022 Hasil Simulasi PVsyst

Bulan	Yf (kWh/kWp)
November 2021	136,45
Desember 2021	104,78
Januari 2022	84,43
Februari 2022	86,76
Maret 2022	108,86
April 2022	114,80
Mei 2022	117,06
Juni 2022	111,88
Juli 2022	116,44
Agustus 2022	130,51
September 2022	125,18
Oktober 2022	121,83
<b>Total</b>	<b>1.358,99</b>
<b>Rata-rata</b>	<b>113,25</b>

Dapat dilihat pada Tabel 7 nilai total untuk periode November 2021 hingga Oktober 2022, yield factor tahunan adalah 1.358,99 kWh/kWp. Faktor hasil berkisar dari tertinggi 136,45 kWh/kWp (atau 136,45 jam/bulan) di bulan November hingga terendah 84,43 kWh/kWp (atau 84,43 jam/bulan) di bulan Januari. Faktor hasil rata-rata adalah 113,25 kWh/kWp, yang setara dengan 113,25 jam setiap bulan.

2. Reference Yield (Yr)

Tabel 8 menampilkan nilai hasil referensi yang dihitung menggunakan persamaan 2.2 dan data radiasi tahunan yang diambil dari database ethernet inverter. Lihat Tabel 8 untuk Hasil Referensi PLTS *On-Grid* sebesar 463,25 kWp dari November 2021 hingga Oktober 2022. Hasil Simulasi PVsyst.

Tabel 8. Reference Yield PLTS On-Grid 463,25 kWp pada Bulan November 2021 – Oktober 2022 Hasil Simulasi Pvsyst

Bulan	Yr (kWh/kW)
November 2021	173,4
Desember 2021	132,4
Januari 2022	107
Februari 2022	109,5
Maret 2022	139,1
April 2022	146,2
Mei 2022	149,4
Juni 2022	142,4
Juli 2022	148,7

Agustus 2022	166,9
September 2022	160,5
Oktober 2022	155,1
<b>Total</b>	<b>1730,6</b>
<b>Rata-rata</b>	<b>144,22</b>

Tabel 8 menunjukkan bahwa rata-rata hasil acuan periode November 2021–Oktober 2022 adalah 144,22 kWh/kWp atau 144,22 jam/bulan, Hasil referensi berkisar dari 173,4 kWh/kWp (atau 173,4 jam/bulan) di bulan November hingga 107 kWh/kWp (atau 107 jam/bulan) di bulan Januari.

3. Performance Ratio (PR)

Perhitungan rasio efisiensi menggunakan persamaan 2.3 ditunjukkan pada Tabel 9.

Tabel 9. Rasio Kinerja PLTS On-Grid 463,25 kWp pada Hasil Simulasi PLTS Bulan November 2021 - Oktober 2022

Bulan	PR (%)
November 2021	78,69
Desember 2021	79,14
Januari 2022	78,90
Februari 2022	79,23
Maret 2022	78,26
April 2022	79
Mei 2022	78,36
Juni 2022	78,57
Juli 2022	78,30
Agustus 2022	78,20
September 2022	77,99
Oktober 2022	78,55
<b>Rata-rata</b>	<b>78,56</b>

Berdasarkan Tabel 9, rasio kinerja sistem PLTS rata-rata mencapai 78,56 persen sejak November 2021 hingga Oktober 2022, dengan rasio terbesar tercatat pada Februari 2022 (79,23 persen) dan terendah (77,99 persen) tercatat pada September 2022.

4. Capacity Utilization Factor (CUF)

Tabel 10 menampilkan hasil perhitungan faktor utilisasi kapasitas dengan menggunakan persamaan 2.4.

Tabel 10. Hasil Simulasi PVsyst PLTS On-Grid 463,25 kWp dari bulan November tahun 2021 hingga bulan Oktober tahun 2022

Bulan	CUF (%)
November 2021	18,95
Desember 2021	14,55
Januari 2022	11,73
Februari 2022	12,05



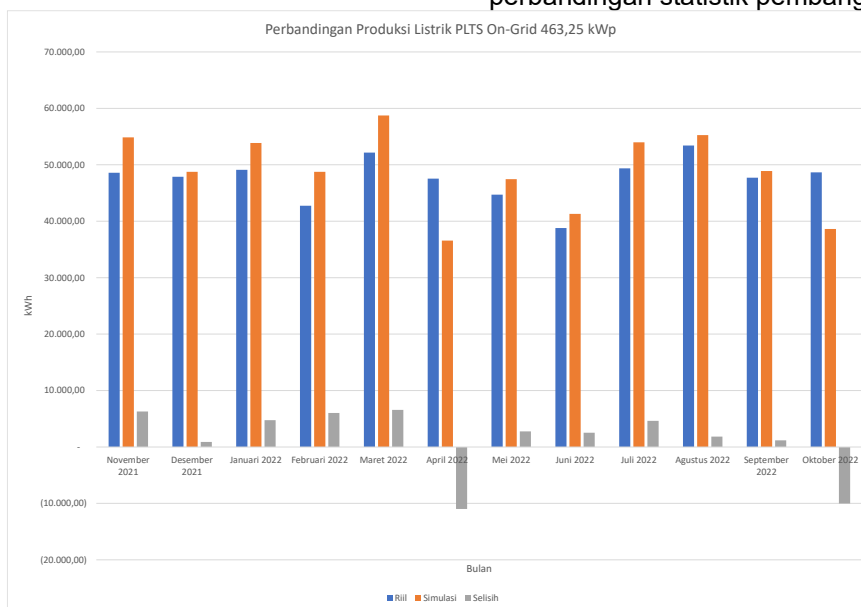
Maret 2022	15,12
April 2022	15,94
Mei 2022	16,26
Juni 2022	15,54
Juli 2022	16,17
Agustus 2022	18,13
September 2022	17,39
Oktober 2022	16,92
<b>Rata-rata</b>	<b>15,73</b>

Tabel 10 menunjukkan bahwa nilai CUF November 2021 hingga Oktober 2022 bervariasi antara 11% dan 18%, dengan November 2022 memiliki nilai

CUF tertinggi yaitu 18,95% dan terendah pada bulan Januari sebesar 11,73% dengan rata-rata nilai CUF sebesar 15,73%.

#### 4.7 Perbandingan Produksi Energi Listrik PLTS Perusahaan Farmasi Secara Riil dengan Hasil Simulasi Software PVSyst

Program PVSyst digunakan untuk menjalankan simulasi, dan hasil simulasi tersebut diplot terhadap data produksi listrik aktual untuk periode November 2021 hingga Oktober 2022. Gambar 8 menunjukkan perbandingan statistik pembangkit listrik.



Gambar 8. Perbandingan Produksi Listrik PLTS On-Grid 463,25 kWp

Gambar 8 menunjukkan grafik kontras nilai pembangkit listrik simulasi dengan pembangkit listrik aktual menggunakan model PVSyst. Untuk periode November 2021 sampai dengan Oktober 2022, total daya aktual yang dihasilkan oleh sistem PLTS adalah sebesar 570.724,82 kWh, sedangkan untuk total produksi listrik hasil simulasi software PVSyst adalah senilai 629.550 kWh. Adapun selisih antara simulasi dan riil adalah senilai 58,825,18 kWh atau sebesar 9,34%.

#### 4.8 Perbandingan Performansi PLTS Perusahaan Farmasi Riil dengan Hasil Simulasi Software PVSyst

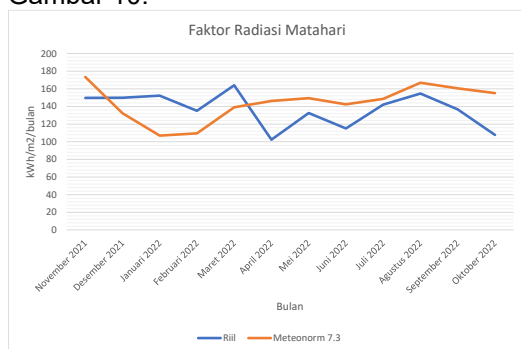
Berdasarkan nilai produksi listrik riil dan hasil simulasi software PVSyst, dilakukan analisis parameter unjuk kerja sistem PLTS seperti YF, PR, dan CUF. Nilai analisis unjuk kerja simulasi dan riil dibandingkan, sehingga hasilnya dapat dilihat pada Gambar 9.

Perbandingan Unjuk Kerja Sistem PLTS On-Grid 463,25 kWp Perusahaan Farmasi, Jakarta Timur									
Bulan	YF			PR			CUF		
	Riil	Simulasi	Selisih	Riil	Simulasi	Selisih	Riil	Simulasi	Selisih
	kWh/kWp	kWh/kWp	kWh/kWp	%	%	%	%	%	%
November 2021	104,89	118,43	13,54	70,03	79,11	9,08	14,57	16,45	1,88
Desember 2021	103,38	105,27	1,90	68,94	75,80	6,86	14,36	14,62	0,26
Januari 2022	106,03	116,27	10,24	69,63	76,40	6,77	14,73	16,15	1,42
Februari 2022	92,29	105,27	12,98	68,28	77,86	9,59	12,82	14,62	1,80
Maret 2022	112,60	126,80	14,20	68,61	77,32	8,70	15,64	17,61	1,97
April 2022	102,65	78,94	-23,71	72,60	77,17	4,57	14,26	11,39	-2,87
Mei 2022	96,51	102,46	5,95	72,78	77,21	4,43	13,40	14,23	0,83
Juni 2022	83,73	89,17	5,44	72,72	77,40	4,69	11,63	12,38	0,75
Juli 2022	106,57	116,55	9,98	74,96	76,88	1,92	14,80	16,19	1,39
Agustus 2022	115,31	119,29	3,98	74,56	77,11	2,55	16,02	16,57	0,55
September 2022	103,01	105,54	2,53	75,32	77,15	1,83	14,31	14,66	0,35
Oktober 2022	105,03	83,38	-21,65	79,68	77,28	-2,40	14,59	11,58	-3,01
<b>Rata-rata</b>	<b>102,67</b>	<b>105,62</b>	<b>2,95</b>	<b>72,34</b>	<b>77,22</b>	<b>4,88</b>	<b>14,26</b>	<b>14,70</b>	<b>0,44</b>

Gambar 9. Perbandingan Parameter Unjuk Kerja Simulasi dan Eksisting Sistem PLTS On-Grid 463,25 kWp

#### 4.9 Faktor-faktor yang mempengaruhi perbedaan kinerja PLTS eksisting dan hasil simulasi sistem PLTS terhubung jaringan 463,25 kWp PVSyst di Perusahaan Farmasi Jakarta Timur

Analisis produksi listrik dan kinerja sistem PLTS on-grid 463,25 kWp mengungkapkan bahwa terdapat perbedaan yang besar antara nilai hasil produksi eksisting dengan nilai prediksi simulasi PVSyst. Berdasarkan sumbernya, sistem PLTS yang eksisting menggunakan data radiasi matahari yang diakses melalui perangkat pyranometer. Adapun besarnya nilai radiasi matahari yang didapat dalam setahun yaitu 1.642,85 kWh/m<sup>2</sup>/tahun, sedangkan untuk hasil simulasi yang menggunakan software PVSyst nilai radiasi matahari didapat dari data meteorologi meteonorm 7.3 dengan total radiasi tahunan senilai 1.730,6 kWh/m<sup>2</sup>/tahun. Adapun perbedaan radiasi matahari terdapat pada Gambar 10.



Gambar 10. Perbandingan Radiasi Matahari Tahunan Meteonorm 7.3 dengan Pyranometer

Selain itu, faktor *soiling* yaitu berupa debu pada panel surya karena posisi panel

surya yang berada di kawasan industri, sehingga banyak debu maupun polusi yang menempel pada panel. Selain itu, ditemukan juga beberapa kotoran burung yang menyebabkan kurang optimalnya kinerja dari sistem PLTS seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. *Soiling* Sistem PLTS On-Grid 463,25 kWp di Perusahaan Farmasi

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. PLTS *on-grid* 463,25 kWp di Perusahaan Farmasi pada kawasan PT Jakarta Industrial Estate Pulo Gadung, Jakarta Timur merupakan PLTS skala industri dengan tujuan menghemat pemakaian energi listrik PLN yang terhubung dengan sambungan daya PLN 2.258 kVA
2. Sistem PLTS pada pabrik farmasi ini terbagi menjadi 4 zona atap seluas 12.000 m<sup>2</sup> dengan total menggunakan 850 buah modul surya merek Trina TSM-DE19 berkapasitas 545 Wp dan 8 buah inverter merek Huawei SUN2000-60KTL-M0 dengan kapasitas 60 kW berjumlah 6 buah dan Huawei

SUN2000-15KTL-M0 dengan kapasitas 15 kW berjumlah 2 buah.

3. Faktor pemanfaatan kapasitas PLTS, rasio kinerja, faktor hasil, dan hasil referensi adalah semua indikator *output* dan kinerja listrik *on-grid* 463,25 kWp di Perusahaan Farmasi dengan kondisi eksisting pada bulan November 2021 hingga Oktober 2022 didapatkan sebesar 570.724,82 kWh; 102,67 kWh/kWp; 136,90 kWh/kW; 72,34%; 14,26%, sedangkan hasil simulasi secara berurutan yaitu 629.550 kWh; 113,25 kWh/kWp; 144,22 kWh/kW; 78,56%; 15,73%. Berdasarkan hasil simulasi dan eksisting nilai produksi listrik serta hasil parameter unjuk kerja didapatkan hasil 58,825,18 kWh; 126,98 kWh/kWp; 87,75 kWh/kW; 2,44%; dan 1,47% secara berurutan.
  4. PLTS on-grid 463,25 kWp di sebuah perusahaan farmasi di Jakarta Timur berbeda dari simulasi saat ini baik dari segi nilai pembangkitan energi maupun hasil metrik kinerja. sehingga pada eksisting didapatkan nilai lebih rendah karena menggunakan data dari pyranometer, sedangkan pada *software* menggunakan data dari metereonorm. Selain itu, terdapat faktor soiling karena posisi panel surya yang terletak pada kawasan industri sehingga terdapat banyak kotoran yang menempel pada permukaan panel surya.
- 6. DAFTAR PUSTAKA**
- [1] Mulyani, D., & Hartono, D. (2018). Pengaruh Efisiensi Energi Listrik pada Sektor Industri dan Komersial terhadap Permintaan Listrik di Indonesia. *Jurnal Ekonomi Kuantitatif Terapan*, 1. <https://doi.org/10.24843/jekt.2018.v11.i.01.p01>
  - [2] Konsumsi Listrik Naik, PLN Cetak Pendapatan Rp 25,13 Triliun di Januari 2022. (2022). Retrieved June 17, 2023, from <https://web.pln.co.id/media/siaran-pers/2022/02/konsumsi-listrik-naik-pln-cetak-pendapatan-rp-2513-triliun-di-januari-2022>
  - [3] Tim Sekretaris Jenderal Dewan Energi Nasional. (2019). *Indonesia Energy Outlook 2019*. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689– 1699.
  - [4] Kementerian ESDM RI - Berita Unit - Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan - Pemerintah Optimistis EBT 23% Tahun 2025 Tercapai. (2021). Retrieved June 17, 2023, from <https://www.esdm.go.id/id/berita-unit/direktorat-jenderal-ketenagalistrikan/pemerintah-optimistis-ebt-23-tahun-2025-tercapai>
  - [5] Kementerian ESDM RI - Berita Unit - Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan Konversi Energi Semakin Ekonomis, Pengguna PLTS Atap Diharapkan Terus Bertambah. (2021). Retrieved June 17, 2023, from <https://ebtke.esdm.go.id/post/2021/08/16/2937/semakin.ekonomis.pengguna.plts.atap.diharapkan.terus.bertambah>
  - [6] IESR – Infografis – Peran Strategis Sektor Komersial dan Industri dalam Pengembangan Energi Terbarukan. Retrieved June 17, 2023 from <https://iesr.or.id/infografis/peran-sektor-komersial-dan-industri-dalam-pengembangan-energi-terbarukan>
  - [7] Rachmi, A., Prakoso, B., Hanny Berchmans, Devi Sara, I., & Winne. (2020). *Panduan Perencanaan dan Pemanfaatan PLTS atap di Indonesia*. PLTS Atap, 94.
  - [8] Di, K. W. P., Perkantoran, A., Panjaitan, K. R., Ayu, I., Giriantari, D., & Setiawan, I. N. (2023). *ANALISIS UNJUK KERJA PLTS CARPORT KEMENTERIAN ESDM REPUBLIK*. 10(1).
  - [9] Vries, P. de, Connors, M., &

- Jaliwala, R. (2011). Energi Yang Terbarukan. Buku Panduan Energi Terbarukan, 106.
- [10] Messenger, R., & Goswami, D. Y. (2017). Photovoltaics fundamentals, technology, and application: Photovoltaics. In Energy Conversion, Second Edition. <https://doi.org/10.1201/9781315374192>
- [11] Putri, R., Meliala, S., & Zuraida, Z. (2020). Penerapan Instalasi Panel Surya Off Grid Menuju Energi Mandiri Di Yayasan Pendidikan Islam Dayah Miftahul Jannah. JET (Journal of Electrical ...), 5(3), 117–120. <https://jurnal.uisu.ac.id/index.php/jet/article/view/3546>
- [12] Gumintang, M. A., Sofyan, M. F., & Sulaeman, I. (2020). Design and Control of PV Hybrid System in Practice. 122.
- [13] Sukmajati, S., & Hafidz, M. (2015). PERANCANGAN DAN ANALISIS PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA KAPASITAS 10 MW ON GRID DI YOGYAKARTA. ENERGI & KELISTRIKAN, 7(1), 49–63. <https://doi.org/10.33322/energi.v7i1.582>
- [14] Rezky Ramadhana, R., Iqbal, M. M., Hafid, A., & Teknik Elektro, J. (2022). Analisis Plts on Grid. Vertex Elektro, 14(1), 12–25. <https://journal.unismuh.ac.id/index.php/vertex/article/view/9143>
- [15] Gunawan, N. S., I.N, N., & Irawati, R. (2019). Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga. SPEKTRUM Universitas Udayana, 6(September), 1–9.
- [16] British Standard, BS EN 61724:1998 IEC 61724:1998. Photovoltaic system performance monitoring-Guidelines for measurement, data exchange and analysis, 1998, BSI, 1999.
- [17] Unjuk, A., Pembangkit, K., Tenaga, L., Plts, S., Setiawan, I. K. A., Kumara, I.N. S., & Sukerayasa, I. W. (2014). Satu Mwp Terinterkoneksi Jaringan Di Kayubih, Bangli,. Program Studi Teknik Elektro Universitas Udayana Bali, 13(1), 27–33.
- [18] Sharma, V., & Chandel, S. S. (2013). Performance analysis of a 190kWp grid interactive solar photovoltaic power plant in India. Energy, 55, 476–485. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.03.075>
- [19] Anang, N., Syd Nur Azman, S. N. A., Muda, W. M. W., Dagang, A. N., & Daud, M. Z. (2021). Performance analysis of a grid-connected rooftop solar PV system in Kuala Terengganu, Malaysia. Energy and Buildings, 248, 111182. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111182>
- [20] Surya, T., Atap, P., Asdiyan, L., Ayu, S., Ayu, I., Giriantari, D., Setiawan, I. N., Program, M., Teknik, S., Teknik, F., & Udayana, U. (2023). ANALISIS UNJUK KERJA PEMBANGKIT LISTRIK DI RESIDENSIAL BUKIT GADING MEDITERANIA,. 10(1), 32–43.
- [21] Karuniawan, E. A. (2021). Analisis Perangkat Lunak PVSYST, PVSOL dan HelioScope dalam Simulasi Fixed Tilt Photovoltaic. Jurnal Teknologi Elektro, 12(3), 100. <https://doi.org/10.22441/jte2021.v12.001>
- [22] "Features– PVsyst." <https://www.pvsyst.com/features/> (accessed Jun. 17, 2023)